

# Kaya Mekanikçiler İçin Bilim Tarihi Notları



Yazar  
Doç. Dr. Eren KÖMÜRLÜ



**Kitabın Adı**

Kaya Mekanikçiler için Bilim Tarihi Notları

**Yazar**

Doç. Dr. Eren KÖMÜRLÜ

**ISBN**

978-605-72270-2-7

**Yayıncı**

Mayeb Basın Yayın İnsan Kaynakları Ltd. Şti.

Kabil Cd. 1335. Sk. Vadi Köşk Apt. No:6/8 A. Öveçler ANKARA

Tel: +90 (312) 482 18 60

[info@mayeb.com.tr](mailto:info@mayeb.com.tr)

[www.mayeb.com.tr](http://www.mayeb.com.tr)

**Yayıncı Sertifika No**

40957

Mart 2024



**Bu eserin bir kısmı veya tamamı kaynak gösterilerek kullanılabilir.  
Kişisel kullanım için bilgisayar ortamında kopyalanabilir ve yazıcı  
çıktısı alınabilir.**

## **İçindekiler**

Önsöz	2
1. Bilimsel Devrimin ışığında yaşanan Sanayi Devrimi	4
2. Bazı Bilim Kahramanları	11
3. Kaya Mekaniğinin Akademide Kuruluşu	50
4. Tünelcilik ve Tahkimat Malzemelerinin Kısa Tarihçesi	75
5. Kaya Mühendislerini Yetiştiren Bölümlerin Kuruluş Tarihçeleri	123
6. Kaya Mühendisliğinde Kazı Uygulamalarına yönelik bazı Teknoloji Tarihi Notları	138
7. İlk Kaya Mekaniği Dergileri ve Yayınları	147
8. Kaya Mühendisliğinde Tasarım Yöntemlerinin Tarihsel Gelişimi	151
Kaynaklar	166
Yazar Hakkında	183

## **Önsöz**

Bu kitap çalışmasında temel hatları ile kaya mekaniği bilim dalının tarihçesine ve kısaca kaya mühendisliğinin tarihsel gelişim sürecindeki önemli birtakım konulara değinilmiştir. Kaya mühendisliğinin gelişimi açısından modern bilimin kuruluşu, buna paralel teknolojideki gelişmeler ve sanayi devriminin yaşanması önemli kilometre taşları olmuştur. Sanayi devrimi sonrası artan ulaşım, yapılaşma ve yeraltı kaynaklarının çıkarılması ihtiyaçları neticesinde kaya mühendisliği uygulama alanlarının yaygınlaşması ve önem kazanması akademideki araştırmacıları kaya mekaniği alanına yönlendirmiştir. 19. yüzyılın ikinci yarısında büyük ivme kazanan kaya mühendisliği uygulamaları üniversite ve mesleki okullarda yeni derslerin okutulmasını sağlamış, ilk etapta mühendislik jeolojisi disiplini altında bir konu olan kaya mekaniği akademide yeni bir bilim dalı olarak 20. yüzyıl ortalarında kurulmuştur. Geotekniğin kurucusu Terzaghi'nin de önerdiği üzere, kaya ve zemin mekaniğinin akademide ayrı branşlar olarak ve farklı araştırmacılar tarafından detaylandırılması konusundaki ilerleme 1950'li yıllarda meyvesini vermiştir. 1950'li yıllardan önce kaya mekaniğine madencilik, jeoloji veya inşaat ile ilgili bölümlerde çeşitli derslerin içinde değinilmiş, 1958 itibari ile Charles Fairhurst tarafından ilk kez bağımsız kaya mekaniği dersleri okutulmaya başlamıştır. Kaya mekaniğinin akademide yeni bir bilim dalı olarak ilgi gördüğü 20. yüzyılın üçüncü çeyreğinde Uluslararası Kaya Mekaniği Derneği'nin kurulması, Kaya mekaniği üzerine akademik dergilerin yayın hayatlarına başlaması,

kaya mekaniği kongre ve sempozyumlarının düzenlenmeye başlaması önemli gelişmeler olmuştur. 19. yüzyıl kaya mühendisliği yapıları açısından zorlu imtihanların verildiği, daha önceki yüzyıllara kıyasla boyutların hızla arttığı, önemli uygulamaların gerçekleştirildiği bir yüzyıl olmuştur. Bu yüzyılda mühendislik problemlerinin çözümüne yönelik teknolojinin kullanımı açısından cesur adımlar ve devrim niteliğinde örnekler mevcuttur. Ancak, kaya mühendisliğinde daha büyük devrimler 19. yüzyılda sağlanan altyapının bir sonucu olarak 20. yüzyılda gerçekleşmiştir. Bulunduğu zamanın koşulları, imkanları göz önüne alındığında 19. yüzyılın kaya mühendisliği alanındaki başarıları geçtiğimiz yüzyılınki gibi göz kamaştırıcıdır. Ayrıca, 19. yüzyıl üniversitelere mühendislik eğitiminin girmesi bakımından da önemli bir yüzyıldır. Bu kitapta kaya mekaniği ile ilgili kişilerin merak edebileceği, öğrenmekten keyif duyacakları önemli birçok konudaki gelişmelere yer verilmeye çalışılmıştır. Ancak, bu kısa kitap çalışmasında kaya mekaniği tarihçesinde değinilmesi gereken tüm başlıklara yer verme amacı yoktur. Okuyucuları için faydalı olacağına inanılan bu kitabın yayınlanmasını üstlenen Mayeb Basın Yayın Ltd. Şirketine, şirketin kurucusu ve sahibi Onur Aydın Beye, destekleri ile güç veren aileme ve kitabın okuyucularına teşekkürlerimi sunarım.

Doç. Dr. Eren Kömürlü

Giresun Üniversitesi, Şubat 2024

## **1. Bilimsel Devrimin ışığında yaşanan Sanayi Devrimi**

18. yüzyıl ve öncesinde basit el aletleri ile kazısı haftalar süren kaya kütleleri günümüz teknolojisi ile saatler içinde kazılabilmektedir. Yine eski dönemlerde tahkimat yetersizliği nedeniyle kazısı mümkün olmayan yeraltı açıklıkları günümüzde kazılabilmektedir. Bunun için temel sebepler yeni tahkimat malzemelerinin ve yeni tahkimat türlerinin kullanıma girmesi, ayrıca çağdaş tahkimat anlayışının keşfedilmesidir. Tünelcilik tarihinde en önemli iki yüzyıl 19. ve 20. yüzyıllardır. Sanayi devriminin bir sonucu olarak 19. yüzyılda ulaşım ağlarının ve şehirleşmenin genişletilmesine, yeni yeraltı kaynaklarının kullanımına, büyüyen tesislere ve artan enerji üretimine ihtiyaç duyulmuştur. Bu sebeple özellikle sanayi devrimini yaşayan ülkelerde 19. yüzyılda öncesine kıyasla çok daha büyük mühendislik projeleri hayata geçirilmiştir. Sanayi devriminin bir etkisi olarak 19. yüzyılda çok sayıda yeni tünel inşaatı gerçekleştirilmiş, tünel ismi dahi bu yüzyılda konulmuştur. Tünel ismi Fransızca da Çardak anlamına gelen "tonelle" kelimesinden gelmektedir. Yine 19. yüzyılda sanayi devriminin bir sonucu olarak madencilikte de önemli gelişmeler kaydedilmiştir. Sanayi devrimi beraberinde ham maddeye olan ihtiyacı arttırmış, bu sebeple yeni madenlerin işletilmesine gereksinim duyulmuştur. Sanayi devriminin bir sonucu olarak 19. yüzyılda maden teknolojilerinde de önemli ilerlemeler kaydedilmiştir. Örneğin madenlerde kazı yapılan yeni ekipmanlar geliştirilmiştir. 18. yüzyılda başlayan sanayi devriminin etkileri 19. yüzyılda belirgin olarak yaşanmıştır. Elle yapılan çok yavaş ve zor kazıların ardından, 19.

yüzyılda kazı işleri için makinelerin kullanıma başlaması kazıda ilerleme hızını önemli ölçüde artırabilmiştir. Bu konuda daha detaylı bilgiye bu kitabın “Kaya Mühendisliğinde Kazı Uygulamalarına yönelik bazı Teknoloji Tarihi Notları” başlıklı bölümü altında yer verilmiştir.

Sanayi devrimi ile insan gücünün yerini makine gücü almaya başlamıştır ve üretim verimi artırılabilmiştir. Sanayi devrimi ile birlikte ham maddeye, madenlere olan ihtiyaç artmıştır. Daha büyük boyutlu üretimlere ihtiyaç duyulmuş ve bu da makineleşmeyi zorunlu kılmıştır. Makine gücünden yararlanma imkanı çoğu sektörde büyük ilgi görmüş ve fayda sağlamıştır. O dönem temel yakıt olan kömürün üretimine olan ihtiyaç katlanarak artmıştır. Sanayi devrimini yakalamak isteyen devletler kömür madenciliğine büyük önem vermiş ve madencilikte nicelik ve nitelik bakımından büyük ilerleme yakalamışlardır. Osmanlı gibi sanayi devrimini zamanında yakalama konusunda başarılı olamayan ülkeler halen geç kalışlarının getirdiği dezavantajları yaşamaya devam etmektedirler. Osmanlı kömürün teknolojik ve ekonomik açıdan Dünya'da önem kazanmış olduğu 19. yüzyılda madenlerini verimli işletme konusunda geç kalmıştır. Bu geç kalış sanayileşme yarışında Osmanlı İmparatorlugunu geride bırakan önemli nedenlerden olmuştur. Kömürün çağın gerektirdiği yöntemler ve yüksek kapasite ile üretilmeye başlaması yabancı şirketlere verilen imtiyazlar neticesinde sağlanmıştır. Modern madencilik yatırımları için bütçe ve teknik personel eksikliği sebebi ile devrin gelişmiş

lkelerindekiler ile yarışabilecek Osmanlı maden Őirketleri kurulamamıştır.

Sanayi devrimini başlatan da yine madencilik sektörü olmuştur. Sanayi devrimini başlatan ilk makineleşme rneği kömür madenlerinden su atımı için kullanılan buhar makineleri olmuştur. İlk buhar gücünden yararlanma fikri antik döneme (Heron'a) dayanmakta olsa da bu fikri hayata geçiren ve ticari ürüne dönüştüren 18. yüzyıl Britanya'lıları olmuştur. Sanayi devrimi teknolojik bir devrimdir. Teknolojik ilerlemelerin altında yatan ise bilimsel gelişmelerdir. Bilimsel gelişmelerden bağımsız bir teknoloji devriminin gerçekleşmesi mümkün değildir. Bilim ve teknoloji arasında döngüsel bir etkileşim vardır. Bilimsel alışmalar uygulamaya elverişli bilgi üreterek teknolojik gelişmeye yol açarken, teknolojik gelişmeler de bilimsel araştırmanın daha uygun Őartlarda yapılmasını sağlayarak bilimsel gelişmeyi hızlandırmaktadır. Sanayide gelişmiş devletler aynı zamanda bilimde de başarılıdırlar. Bu durum bilim ve teknoloji arasındaki etkileşimi doğrulamaktadır. 18. yüzyılda yaşanan ve etkileri 19. yüzyılda geniş topraklara yayılan sanayi devrimini tetikleyen temel sebeplerden biri 17. yüzyılda yaşanan bilimsel devrim olmuştur. Kimi bilim tarihçileri tarafından sanayi devriminin ilk tohumlarında bilimsel devrimin etkisi doğrudan görülemiyor olsa da, sanayi devriminin ilerlemesi ve başarılı olması kesin olarak bilimsel devrim temeli üzerine kurulu gelişmeler sayesinde sağlanmıştır. Bu kitabın ilerleyen sayfalarında da ifade edileceği üzere kaya mühendisliğinin gelişimi açısından en önemli dönemlerden biri sanayi



devrimi etkisinde 19. yüzyıldır. 19. yüzyılda mühendislik alanında büyük sınavlar verilmiş, daha önceki yüzyıllara göre mühendislik yapılarının sayısı hızla artmış, zor zemin koşullarında kazı ve tahkimat işleri gerçekleştirmek üzere cesaretli adımlar atılmış, boyutlar büyümüş ve emniyetli mühendislik çalışmalarının gerçekleştirilmesi için kaya kütlelerinin mekanik davranışları daha yakından incelenmeye başlamıştır. Ancak, 19. yüzyılda kaya mekaniği bilim dalının kurulmamış olmasının da bir etkisi olarak kaya kütlelerinin mühendislik özellikleri yeteri kadar detaylı anlaşılmamıştır. Maden çıkarma, ulaşım, enerji, şehirleşme vb. amaçlarla çok sayıda kaya mühendisliği uygulaması 19. yüzyılda hayata geçmiştir. Sahadaki pratik ilerleme gecikmeli de olsa bilimsel anlamda meyvelerini vermiş, kaya mekaniğinin bağımsız bir bilim dalı olarak kuruluşunu sağlayacak gelişmeler yaşanmıştır. Kaya mekaniği temelleri keşfedildiği kadarıyla yüksek öğretim kurumlarında çeşitli dersler içerisinde anlatılmış ve 20. yüzyıl ortalarında bağımsız bir ders olarak ilk kez maden mühendisliği bölümlerinde okutulmaya başlamıştır. 20. yüzyılın ilk çeyreğinde yer malzemelerinin mekanik özelliklerini inceleyen geoteknik biliminin akademide kurulduğu kabul edilir. Bu konuda öncü isim olarak Karl von Terzaghi'nin (1883-1963) ismi anılmaktadır. Kaya ve zemin mekaniğinin kendi kulvarlarında detaylandırılması için ayrı bilim dalları olarak farklı araştırmacılar tarafından çalışılması, kendi cemiyetlerinin oluşturulması konusunda somut neticeler geçtiğimiz yüzyıl ortalarında görülmüştür. 20. yüzyılın üçüncü çeyreğinde sadece kaya mekaniği alanında yayın yapan bilimsel dergiler, bilimsel toplantılar ve kaya mekanikçilerinin

bir araya geldiği uluslararası ve ulusal bilimsel dernekler kurulmuştur. Her bilimdalı zamanla kendi alt başlıklarında detaylandırılmıştır. Kaya mekaniği de günümüzde çok sayıda araştırma alanı içeren gelişmiş bir bilimdalı konumuna gelmiştir. Bu konuda daha detaylı bilgi bu kitabın “Kaya Mekaniği’nin Akademide Kuruluşu” başlığı altında verilmektedir.

Kaya mekaniği mukavemet bilim dallarından biridir. Bu bakımdan, 20. yüzyıl ortasında kurulduğu söylenebilen kaya mekaniği’nin kökleri mukavemet biliminin kurucusu olarak kabul edilen Galilei’ye kadar uzanır. İlk mukavemet kitabı olan “İki Yeni Bilim üzerine Diyaloglar” başlıklı eserde Galilei çeşitli ahşap, kemik, kaya numunelerinin kırılma yüklerini ve çatlak şekillerini incelemiştir. Galilei bu eserinde gerilme kavramından bahsetmiş, boyut ve şekil parametrelerinin dayanım hatta deformabilite özellikleri üzerindeki etkilerini incelemiştir. Galilei gibi bir çok bilim kahramanı modern bilimin kuruluşu için büyük roller üstlenmiştir. Bugün erişilen bilimsel nokta için insanlık bilimsel devrimi mümkün kılan bilim kahramanlarına çok şey borçludur. Kaya mekaniği ve mühendisliğinin günümüzdeki seviyesine ulaşmasında 1. Sanayi devriminden bugüne süregelen teknolojik devrimler, öncesinde modern bilimin keşfi, bilimsel devrim ve bilimsel devrimin mümkün kılınması için insan aklına güven ve hümanizma akımı etkili olmuştur. Sanayi devriminde olduğu gibi bilimsel devrimin de ilk tohumları Britanya’da atılmıştır. Deneye ve gözleme, ispatlanabilir bilgiye dayalı modern bilimin ilk savunucusu olmasa da değişimin fitilini ateşleyen en etkili savunucusu

olan kişi İngiliz Francis Bacon'dur (1561-1621). Francis Bacon'dan önce Roger Bacon (1220-1292) gibi doğa filozofları da modern bilim yönteminin tohumlarını ekmiş ancak mevsimi uygun olmadığı için bu tohumlar yeşerememiştir veya yaklaşık 350 yıl uykuda kalmıştır. Roger Bacon ve Francis Bacon arasında bir humanizma akımı yaşanmış, Batı aydınlanmaya başlamış, İnsana ve aklına verilen değer ve güven artmıştır. Diğer taraftan Bacon sadece aklımızla ve düşünerek bilimsel gerçeklere ulaşamayacağımızı, bilimsel gerçeklere ulaşmak için hakikatleri doğanın gözler önüne sermekte olduğunu, bunun için gözlem ve deneyle erişilen sınanabilir bilginin güvenilir olduğunu söylemiştir. Aklımızı kullanarak doğru deney ve gözlemler yapılması yolu ile doğa ile ilgili hakikatleri öğrenebileceğimizi ifade etmiştir. Sınanmamış bilgilere güvenilemeyeceğini, bu sebeple antik dönem filozoflarının ispatlanmamış bilgilerini doğru kabul etmenin yanlış olduğunu açıklayarak bilimin felsefeden bağımsızlığını kazanması noktasında önemli bir adım atmıştır. Francis Bacon'un ölümü dahi deney yaparken olmuştur. Soğuk havada bozunmanın yavaşladığını gözlemlemek için yaptığı çalışmalar sonucu zatüre olmuş ve hayatını kaybetmiştir. Francis Bacon'un başlattığı akımın neticesinde doğa felsefesinden bilime geçiş ve modern bilim yönteminin anlaşılması mümkün olmuştur. Bacon'un açtığı yoldan Robert Boyle (1627-1691) gibi büyük bilim adamları da giderek İngiliz Ampirisizm ekolünü güçlendirmişlerdir. Boyle başta adı "Invisible College" ismiyle anılan daha sonra Kraliçenin desteğini alarak Kraliyet Derneğine (Royal Society) dönüşecek büyük bilimsel cemiyeti kurmuştur. Bu cemiyete daha sonra Robert Hooke ve Isaac

Newton da başkanlık edecektir. Royal Society halen süregelen dünyanın en eski bilim akademisi olma özelliğine sahiptir. 17. yüzyıl bilimsel devrimini mümkün kılan en önemli organizasyonların başında bu derneğin geldiğini söylemek yanlış olmayacaktır. Francis Bacon ve onun yol açtığı bilimsel akımın neticesinde akademideki araştırmacıların daha pratik bilgilere, uygulamalı bilimlere ilgisi artmıştır. Bilimsel devrimin teknolojik devrimleri tetiklemesi açısından bilimin yalnızca doğayı ve evreni daha iyi anlama amacında olmadığı, aynı zamanda refah seviyesini artırmayı da amaçladığı görüşünün oluşması önemli olmuştur. Bilimsel devrim öncesi üniversitelerdeki akademik çevreler gündelik ve uygulamalı alanlarla pek ilgilenmemişlerdir. Ancak, modern bilimin kurulması bilim ve teknoloji arasındaki iletişimi artırmıştır. Bilimsel devrim yaşamamış ülkeler sanayi devrimlerine de ayak uyduramamıştır. Thomas Savery 1698 yılında ilk buhar makinesi tasarımını Kraliyet Derneğine sunmuştur. Teknoloji ve bilimin birlikte çalışması açısından bu önemli örneğe ek olarak, Thomas Newcomen'in da 1712 yılında ürettiği buhar makinesi için yine İngiliz Kraliyet Derneği ile iletişimde olduğu ifade edilir. Bilimden bağımsız teknolojide ilerleyebilmek mümkün değildir. Sanayi devrimini başlatanların bilimsel devrimde en etkili rolü üstlenen İngilizlerin olması bir tesadüf değildir. Benzer şekilde, Fransa, Almanya ve ABD gibi sanayi devrimini erken yaşayan ülkelerin de bilim tarihinde başarılarla dolu geçmişe sahip olmaları bir rastlantı değildir. Bilimsel altyapı teknolojik atılımların en temel anahtarıdır.

## **2. Bazı Bilim Kahramanları**

Ortaçağ Avrupa üniversitelerinde modası geçmiş antik dönem doğa filozoflarının bilgileri kutsallaştırılmış olarak ve değişime karşı muhafaza edilerek öğretilmekte, bilgileri yorumlarken incil ile ters düşmemesi için azami gayret gösterilmekteydi. Avrupa’da doğa felsefesi derslerinin müfredatta yer alması büyük mücadeleler sonucunda olmuştur. İncil ile yer yer ters düştüğü görüşü ile Aristoteles’in derslerde okutulmaması için 13. yüzyıl başlarında Fransa ve İngiltere’de yasaklar getirilmişse de sonraları Aristo ve birçok antik çağ düşünürü Avrupa manastırlarında ve üniversitelerinde fazlası ile saygı görmüş ve temel kaynak olarak okutulmuştur. Aristo’nun öğretilerinin incille ters düşmemesi için yer yer deforme edilmesinden de kaçılmamıştır. 16. yüzyıla gelene kadar ortaçağ üniversitelerinde temel hakim olan düşünce Antik dönem doğa felsefesi ile Hristiyan dogmasının bağdaştırılmasına dayanan skolastisizimdi. Bu görüş içerisinde hristiyan düşünceleri ile bağdaştırmak için yorumlanan, bazen öğretileri eğilip bükülen hristiyanlarca kutsallaştırılmış antik dönem düşünürleri mevcuttu. Kutsallaştırılmayanların pekçoğu ise kilise tarafından yasaklandı. Eski Yunan ve Roma dönemine ait özellikle edebiyat eserleri “kafir putperestlerin düşünceleri”ni yansıttığı incancıyla saygı görmedi. Görece doğa felsefesi alanındaki eserlere ilgi gösterildi. Skolastik dönemde yeni bir bilgi önermek ve öğretilen yanlış bir bilgiyi düzeltmek zordu. Tamamen kapalı bir bakış açısı ile bir eğitim modeli içerisinde, sorgulama ve şüpheden uzak, dogmatik yaklaşımlarla

eğitim verilmekteydi. Üniversiteler özerkleşmeye çalışsa da kilise üniversite üzerindeki baskısını koruyor ve üniversitelerin kontrolünden çıkmasını istemiyordu. Üst düzeyde yetkili kişiler Papa tarafından müfettiş olarak atanıyor ve üniversiteleri denetliyebiliyorlardı. Yalnız dini otoriteler değil, çoğu zaman krallar tarafından da siyasi açıdan üniversitelerin kontrol altına alınması amaçlanmıştır.

Özellikle kilise tarafından kalıplar içine sıkıştırılan üniversiteler skolastik dönemde bağımsız ve özgür olarak bilgi üretmiyor ve öğretemiyordu. Yaşanan sancılı dönemler neticesinde kilisenin üniversite üzerindeki etkisi 17. yüzyılda belirgin olarak kırılmaya başlamıştır. Bu noktada yer merkezli sistemin yanlış olduğunu savunan Galilei'nin hapse götürülürken “beni öldürseniz de öldürmeseniz de Dünya güneşin etrafında dönüyor” dediği hatırlanmalı ve gerçeklerin üzerinin baskı ile kapatılamayacağı unutulmamalıdır. Karanlık bir çağın kapanması ve üniversitelerde özgür düşünce ikliminin hakim olması için 17. yüzyılda önemli bir ilerleme dönemi yaşanmıştır. 17. yüzyılda Dünya'yı aydınlatan ve üniversiteler dışında da çalışmalar yapan bağımsız araştırmacılar vardır. 17. yüzyılın ikinci yarısı belirginleşen bilimsel devrimin yaşanması ve sonraki yüzyıl başlarken modern bilimin kurulmuş olması Copernicus'tan başlayıp Newton'a gelen süreçlerde (16., 17. yüzyıllar ve 18. yüzyıl başları) yaklaşık 300 kişi tarafından yapılan yeni buluşlar sayesinde. Dünya'yı saçığı ışıklarla halen aydınlatmaya devam eden bu kişiler içerisinde Blaise Pascal (1623-

1662) da vardır. 17. yüzyılın mekanik alanında parlak buluşlarını bulan kişiler arasında olan Fransız Matematik ve Fizikçi Blaise Pascal da üniversite dışında çalışmışmalar gerçekleştiren bağımsız araştırmacılardandır.

17. yüzyıldaki bilimsel devrimin ve 18. yüzyıldaki teknolojik devrimin yaşanmasında üniversite dışındaki araştırmacıların katkıları büyük olmuştur, üniversiteler refah seviyesini artırmaya yönelik, pratik ve uygulamalı konularla yeteri kadar ilgilenememiştir. Üniversitelerde teknik ve mühendislik bölümlerinin kurulması, teorik eğitimin yanı sıra mesleki eğitim verilmesi konusunda Alman üniversiteleri başta olmak üzere 18. yüzyılda gelişim gösterilmiştir. 18. yüzyıl ve öncesi teknik eğitim veren üniversitelerden bağımsız mesleki okullar vardır. 18. yüzyıl öncesi üniversiteler refah seviyesinin artırılmasına ve hayata dair teknik problemlerin çözümüne yönelik çalışmak yerine daha ulvi bulduğu konularla ilgilenmeyi tercih ettiği için teknolojik ilerlemelere o dönem istenen katkıyı sağlayamamıştır.

Matbaanın 15. yüzyıl ortalarında Avrupa'da icadından önce bilgi kolay yayılamıyordu, kitaplar el yazmasıydı ve sayıları çok azdı. 16. yüzyılda matbaanın yaygınlaşması ile çok sayıda kitaba görece kolay ulaşılabilmiş olması bilimsel devrimin yaşanması için bir diğer önemli etken olmuştur. Kitapların meraklılarına ulaşması neticesinde üniversite veya diğer araştırma kurumları dışından kişilerin de modern bilimin kurulmasına hizmet etmesi kolaylaşmıştır. Gözleme ve deneye dayalı yeni bilgiler üretilmiş ve sınanmış yeni bilimsel bilgiler

kitaplarla yayılabilmiş, böylelikle skolastik felsefenin eseri olan yanlış kalıplar yıkılabilmektedir. Newton'un 1687 yılında yayınladığı Principia adlı başyapıtı skolastik felsefenin büyük ölçüde sonu olmuştur. Bilim yaygınlaşmaya başladıkça kilisenin de baskıları artmıştır. Blaise Pascal da yaptığı yeni buluşlar nedeni ile kiliseye hesap veren kaşiflerden birisidir. Onun hayat yıllarında kilise halen bilim adamları üzerinde baskı kurmaya gayret gösteriyordu.

Yalnızca üniversiteler, eğitim ve araştırma alanında değil, madencilik gibi çeşitli sektörlerde de skolastik düşüncenin izleri halen 17. yüzyılda görülüyordu. Mühendislik çalışmalarında da antik dönemden kalma yanlış veya detaylandırılmamış birçok bilgi kullanılmıyordu. Bu yanlış bilgileri açıklamak için bilimsel dayanağı olmayan, spekülatif ve hurafe ifadeler kullanılmıyordu. Ancak Rene Descartes'in (1595-1650) 17. yüzyılda ifade ettiği akılcılık yaklaşımı, doğanın çözülmeyen gizler taşımadığı, akıl ile doğanın bilinmezlerinin çözülebileceği ve doğa olaylarının anlaşılabilirliği görüşü skolastisizmin yıkılması, akılcılığın ön plana çıkarak modern bilimin kurulmasında etkili olmuştur. Nedeni anlaşılmadığı için gizemler katılan ortaçağ madencilik bilgilerinden biri de suyun vakumlanmış bir boru içinde 10 metreden daha fazla yükselmekten korktuğudur.

Yeraltı su problemleri madenlerde çalışma şartlarını zorlaştırmaktadır, suyun tahliye edilmesi gerekmekte ve günümüzde bu amaçla pompalar kullanılmaktadır. Elektriğin keşfedilmediği, buharlı pompaların bulunmadığı dönemde yaklaşık 10 metre aralıklarla su toplama havuzları veya haznelerinin kullanımı ile kademeli olarak



madenlerde su atımı işlemi yapılmaktaydı. Hava basıncı etkileyen bir su toplama havuzundaki suyun vakumlu bir boru içerisinde en fazla 10 metreye kadar yükselebilmemesinin sebebini bilimsel olarak araştırmak yerine suyun korktuğu söylenmiş ve buna inanılmıştı. Aslında Ortaçağ'ın Aristotelesçi görüşünde vakumlamanın imkansız olduğu inancı vardı, bu yüzden basit emme basma tulumbası kullanımında oluşan su yükselmesinin vakumlamadan kaynaklı olduğunun bile farkında değillerdi. Suyun 10 metreden daha yükseğe çıkmaktan korkması görüşüne inanılan böyle dogmatik bir ortamda doğayı akılcı bir yaklaşımla daha iyi anlamayı amaçlayan Pascal'ın çalışmaları halen hissedilecek ölçüde çağına ışık saçmıştır. Pascal deniz seviyesinde ve dağların farklı rakımlarında atmosfer basıncı sebebi ile manometre deneylerindeki su seviyesinde farklılıklar olduğunu görmüştür. Pascal'ın manometre deneylerinde deniz seviyesinde su görece daha yüksek seviyeye çıkarken, rakımı fazla olan bir dağın tepesinde su seviyesi görece daha düşük kalmıştır. Bu durumların gizemle, dogmayla alakası olmadığını anlatmak için skolastik düşünce yapısına sahip kişilere “su dağların tepesinde yükselmekten daha mı çok korkuyor?, deniz seviyesinde korkusu azalıyor mu yani?” diye alaycı bir soru sormuştur. Bu soru ile konunun suyun korkması ile alakalı olmadığını ve atmosfer basıncının rakım arttıkça azaldığını anlatmaya çalışmıştır. Pascal olguları gizem katmak ve yalanlarla anlatmak yerine, sınanabilir bilgilerle ve akılcılıkla açıklamak gerektiğine dönemi içinde en güzel örneklerinden birini vermiştir. Blaise Pascal'ın basınç konusunda bilime yaptığı devrimsel katkılar, SI birim sisteminde basınç birimine onun adının verilmesini

sağlamıştır. Pascal gerçekleştirdiği devrim niteliğindeki farklı çalışmalarıyla basınç birimine ismini vermeyi fazlasıyla hak etmiş bir bilim insanıdır. Onu çalışmalarına yönlendiren etkenlerden biri de bariz olarak yanlış bulunduğu dogmatik düşüncelerin madencilikteki izleriydi. Kendisi bu anlamda eski dönem madencilik tarihinde önemli bir konuya açıklık getirmiş, madencilikte yanlış ve akılcı olmayan bir yaklaşımı yıkmıştır. Pascal birçok deneyini topluluk önünde gerçekleştiren, şovu ve meydan okumayı seven, çalışmalarıyla ses getiren popüler bir bilim adamı olmuştur.

Madenlerde su ile mücadele hep önemli bir konu olarak süregelmiştir. 17. yüzyıldaki bilimsel devrimden olumlu yönde etkilenen madenlerden su atımı konusu 18. yüzyılda sanayi devrimini başlatacak olan ilk buluşu da tetiklemiştir. Sanayi devriminin temelinde yatan esas sebep insan ve hayvan gücü kullanımından makine kullanımına geçiştir. İskenderiye’li Heron’dan, belki daha da eskiden beri buhar gücünden haberdar olunsa da sektörel fayda sağlayacak profesyonel bir kullanım için ilk buhar makinesi yapımı 17. yüzyıl sonunda olmuştur. İlk ticari buhar makinesini 1698 yılında İngiliz mühendis Thomas Savery (1650-1715) madenlerden su atımı için pompalama görevi görmesi amaçlı bulmuştur. Ancak o günün teknolojisine göre, bu tip bir buharı güvenli biçimde kullanacak düzeyde malzeme bilimi gelişmiş seviyede henüz değildi. Ayrıca, Savery’nin ilkel makinesinde gerekli buharı oluşturmak için suyu ısıtmada çok fazla yakıt gerekliydi. Ticari buhar makinelerinin ilki olan Savery’nin makinesi verimi düşük olduğundan fazla kullanılmamıştır. Ancak, yine de

Thomas Savery makinesi sebebi ile “madenci dostu” olarak anılmıştır. Madene dolan suyu madenden dışarı atmak için insan gücünden makine gücüne geçişin ilk örneğini vermiş olması sebebi ile Thomas Savery madencilik tarihinde önemli bir yerdedir. 17. yüzyılda ilk ticari buhar makinesi geliştirmiş olması onu yalnız madencilik tarihinde değil, tüm teknoloji tarihinde değerli kılmaktadır. Dünya siyasi tarihine yön veren sanayi devriminin yaşanmasını sağlamış buhar makinelerinin bulunduğu ilk sebep madenlerde su atımıdır. Madenlere su dolması geçmişten günümüze madenciler için zorluklar oluştursa da bugüne kıyasla teknolojiadaki kısıtlılık nedeni ile eski madenciler için çok daha büyük sıkıntılar oluşturmaktaydı.

Thomas Savery’den sonra bir nebze daha verimli olan ve görece geliştirilmiş bir buhar makinesini 1712 yılında İngiliz mühendis Thomas Newcomen (1663-1729) bulmuştur. Newcomen’in makinesinde Savery’ninkinden daha az tehlikeli bir çalışma mekanizması mevcuttu. Yine de makine istenilen verime ulaşamamış ve yakıt tüketimi azalmamıştı. Bu sebeple Newcomen’in makinesi de madenlerde istenilen ölçüde yaygınlaşmamıştı. Buhar makinelerinin bulunması ve geliştirilmesi konusunda öncü olan Britanya’da bir başka mühendis James Watt (1736-1839) 1764 yılında bozulan Newcomen makinelerinden birini onarmış ve aynı zamanda randımanı düşük bu makineyi geliştirmek te istemiştir. James Watt madenlerden su atmak için kullanılacak makinesini 1775 yılında istediği şekilde tamamlamış ve satışına başlamıştır. Buhar makinelerine olan ilgisi sayesinde farklı amaçlar için birçok makine tasarımları yapan Watt

1781 yılına gelindiğinde pistonun ileri geri hareketini ustalıkla bir tekerleğin dönme hareketine çeviren mekanik aletler icat etmiştir. Böylelikle ulaşım amacı ile de gemi ve trenlerde Watt'ın makineleri kullanılmaya başlamıştır. Buluşları nedeni ile James Watt sanayi devrimini belirgin olarak başlatan kişi olarak teknoloji tarihinde anılmaktadır.

Taşımacılıkta raylardan yararlanma, buhar makinesinin icadından öncelere dayanmaktadır. Raylar ilk yine Britanya'daki maden ocaklarında kullanılmaya başlamıştır. Madenden çıkarılan malzeme ray üzerinde insanlar ya da hayvanlar tarafından çekilen ufak vagonlarla taşınmaktaydı. Başlangıçta ahşaptan yapılan raylar 1770'li yıllardan itibaren yerini dökme demir raylara bırakmaya başlamıştır. Demiryolu raylarının çelikten yapılması ise 19. yüzyılın ilk çeyreğinde gerçekleşti ve yine ilk kez Britanya'da şehirler arası yolcu ulaşımında demiryolları kullanılmaya başlandı.

İnsanlar çoğu zaman karşılaştığı sorunlara çözüm bulabilmek için teknolojik buluşlar gerçekleştirmiştir. İnsan gücünden makine gücüne geçiş teknoloji tarihi açısından önemli bir kilometre taşıdır. Özellikle ulaşımında makineleşmenin sağlanması belirgin olarak sanayi devriminin gerçekleşmesi için eşiğin aşılmasını sağlayan son itici güç olmuştur.

Pascal'ın madenlerde su atımı konusundaki ilkel ve batıl görüşleri yıkarak akılcı bir açıklama yapması, suyun hareket edebileceği yüksekliğin oluşan basınç farkına bağlı olduğu ve 10 metreden çok

daha yüksek kot farklarında taşınabileceğini buluşu önce buhar gücüne dayalı ve sonrasında elektrikle çalışan güçlü pompalar icat edilmesine zemin hazırlamıştır. İnsan gücünden makineleşmeye geçiş neticesinde suyun eski dönemlerden çok daha yüksek kot farklarında yer değiştirebilmesi ve madenlerden suyun verimli olarak tahliye edilebilmesi mümkün kılınmıştır. Madencilerin zor çalışma şartları su atımı konusundaki ilerlemelerle görece iyileştirilebilmiştir. Bu sayede, modern pompaların kullanımından önce madencilik yapmanın imkansız olduğu ocaklarda madencilik yapılabilir hal almıştır.

Pascal'ın dehasının yanı sıra, bu başarısının arkasındaki önemli bir sebep te varlıklı bir aileden gelip çağı için çok teknolojik ve pahalı deney düzenekleri kullanma imkanını bulabilmiş olmasıdır. Deneyleri için o dönem yüksek bütçe ve yüksek teknoloji gerektiren düzenekler kurmuştur, bilimsel araştırmalarına para ayırma konusunda çok cömert davranmış ve karşılığında da bilimsel olarak haklı bir üne sahip olmasını sağlayacak önemli bulgulara ulaşmıştır.

Suyun yanısıra civa kullanarak ta manometre deneyleri gerçekleştirmiş ve sıvıların yoğunlukları ile ters orantılı olarak manometer içerisinde yükseldiklerini keşfetmiştir. Blaise Pascal'ın anısına birimine ismi verilen basınç kavramı mekaniğin günümüzde en temel parametresi olarak kullanılmaktadır. Bu sebeple Pascal'ın ismi her gün binlerce kez geçmekte ve onun ismini taşıyan birim kullanılarak Dünya'nın her yerinde mühendislik tasarımları gerçekleştirilmektedir. Uzun yıllardır, antik yunandan beri madenciliğin en temel bilgileri arasında varsayılan ancak yanlış ve

bilimsellikten çok uzak olan bir uydurma onun deneyleri sonucu yıkılmış ve gerçeklerin öğrenilmesi sağlanmıştır. Roma döneminden beri kullanılan basit emme basma tulumbaları ile su en fazla 10 metre yükseltilebilmişti. Hatta suyun en fazla 10 metre yükselebileceği bilgisi kitaplarda bile yer almıştı. Madencilik üzerine yazılan ilk kitap “De re metallica”nın yazarı Georgius Agricola dahi bu konuyu irdelemeden kabul etmiştir. “Su en fazla 10 m yükselebilir” görüşü kanun gibi yüzyıllarca kabul görmüştü. Bu sebeple Blaise Pascal’ın deneylerine karşı direnç gösteren madenciler ve o dönemin skolastik anlayışına sahip doğa felsefesi ezbercileri vardı. 17. yüzyıldaki bilimsel devrimde önemli role sahip bilim insanlarından olan Blaise Pascal’ın çalışmaları bu sebepten zorlaşıyordu, kişilere cevap vermek için ekstra uğraş veriyordu ancak bilimsel bilginin sınanabilir olması ve ispatlanabilir bulgulara dayalı olması gerektiğine inanan Pascal kendi görüşlerinin kabul edileceğini biliyordu. Pascal yaptığı deneylerin bir kısmını da topluma açık gerçekleştirmiş ve hatta bir kısmını şov şeklinde planlamış, deneye dayalı bilime karşı toplum ilgisini artırmayı ve yeni bilgileri yaygınlaştırmayı amaçlamıştır. Yüksek işçilik ve malzeme kalitesi ile üretilen deneysel düzenekleri kullanarak kendisinden daha önce denenilen ancak başarısız olan birtakım deneyleri başarı ile tamamlayabilmiştir. Blaise Pascal çok iyi bir deneysel tasarımcıdır.

Bilginin sınanabilir olması, ispatla doğruluğuna inanılması gerektiği görüşüyle modern bilimin kuruluşundaki deneyci yaklaşım 17. yüzyılda kabul görmeye başlamıştır. Bu durum tek görevi bilgiyi

muhafaza edip aktarmak olan zihniyetteki akademisyenlerin deneye ve gözleme ilgisini artırmıştır. Avrupa'da üniversiteler 18. yüzyılda bilimsel devrimden belirgin olarak pozitif yönde etkilenmiştir. Ancak, Osmanlı imparatorluğu eğitim kurumlarında bilimsel devrimin izleri 18. yüzyılda malesef görülmemiştir. Sadece askeri okul amaçlı bir takım girişimler olmuşsa da sivil mühendislik ve bilim açısından Osmanlı eğitim kurumları Avrupa'nın gerisinde kalmıştır. Osmanlı'da ilk fen bilimleri eğitimi veren yüksek öğretim kurumu olan Darülfunun ilk olarak 1846 yılında kurulmuş, ancak medreselerden gelen tepkiler sonucunda kuruluşundan birkaç gün sonra kapatılmıştır. Okulu açma çabaları 19. yüzyıl boyunca devam etmiş, kısa süreliğine açılıp kapansa da eğitimde süreklilik sağlanamamış olup 1900 yılında yeniden ve daha uzun soluklu olarak Darülfunun açılabilmiştir.

Osmanlı madenlerde su atımı konusunda da ilerleyen teknolojiyi yakalayamamıştır. Bu sebeple su ile mücadele konusunda geride kalmış ve işletilebilecek birçok madeni işletememiştir. Charles S. Ryan isimli Avustralyalı bir seyyah, Avustralya'daki maden ocağı kasabalarıyla Osmanlı madenlerini karşılaştırarak, "burada maden atıkları nerededir, istampaların kükremeleri yok, pompaların monoton su sesi yok ve bu yerde yeterli bir şantiye yok" sözleri ile düşüncelerini belirtmiştir. Ryan'ın 1877 yılındaki bu sözleri, Osmanlı'da maden ocaklarının hala eskiden kalma ilkel tekniklerle işletilmeye devam ettiğini ifade etmektedir. Roma döneminden beri kullanılan basit vakum ve düşük kapasiteli emme basma tulumbarları ile madenlerden su atmaya çalışan işletmeler 19. yüzyılda sanayi devrimine ayak

uydurabilen ülkelerde kalmamıştır. Sanayi devrimini yakalayamayan ülkelerde ise müzede olması gereken basit aletler halen madenlerde kullanılmaya devam etmekteydi. Osmanlı'da Avrupa madenlerindeki ile benzer teknoloji kullanılarak üretim yapılması çok az sayıda işletmede ve ancak yabancı şirketlerce 19. yüzyıl biterken mümkün olmuştur. Osmanlı devletinde kömür madenciliğinde Avrupa standartlarında üretim yapan ilk şirket Fransız Ereğli şirketi olmuştur. Metal madenciliği açısından bakıldığında ise 1892 yılında yine Fransızlar tarafından kurulan Balya-Karaydın Madencilik şirketi Osmanlı için görece modern madencilik faaliyetleri yürütebilmiştir. Ancak, Balya-Karaydın şirketinde Osmanlı döneminde 20. yüzyılda halen elle çalışan basit tulumbalar kullanılarak madene su dolmasının engellenmeye çalışıldığı bilinmektedir. Balya'da antik dönemden kalma teknolojiye sahip elle çalışan tulumbaların kullanılmaya devam ettiği 1920'li yıllarda Batıda elektrikli dalgıç pompalar geliştirilmiş ve kullanılmaya başlamıştır. İlk elektrikli pompa imalatı 1903 yılında Amerika Birleşik Devletleri'nde M. Layne ve P.D. Bowler tarafından gerçekleştirilmiştir (URL2).

Su pompaları geliştirildikçe yalnızca madenlerde kullanılmamış, aynı zamanda şehirlerde yerleşimlere temiz su nakli yapmak için de faydalanılmıştır. Osmanlı devleti pompalarını kendisi kurabilecek altyapıya sahip olmadığından bu sistemlerin çalıştırılabilmesi için yabancı mühendislere ihtiyaç duyulmuştur. 19. yüzyılın bittiği yıllarda Osmanlı'nın sahip olduğu ilk buhar gücü ile çalışan pompaları Fransızlar kurmuştur. Osmanlı'da temiz su taşımacılığı amaçlı



kurulan ilk buharlı pompalar İstanbul'da 1883 yılında kurulan Terkos su pompa tesislerinde kullanılmıştır. Terkos tesisinde çalışan pompalar sayesinde suyun 127 metrelik kot farklarına kadar pompalandığı bilinmektedir.

18. yüzyılda teknik gelişmenin ağır ilerlemesi ve teknolojik yaratıcı buluşların uzun yıllara yayılması için önemli bir sebep insan gücü dışında, mekanik güç kaynağı kullanma konusundaki şüphelerdir. Yeni fikirlere şüphe ile yaklaşan ve bildiğinden vazgeçmek istemeyen azımsanmayacak sayıda insanlar geçmişte olduğu gibi gelecekte de olmaya devam edecektir. Madencilik gibi riskli bir meslekte yeni fikirlere kapalı olmanın altında yatan temel sebep korkudur. Buhar gücünü kullanmak ilk etapta biraz ürkütücüydü ve bu yüzden buhar makineleri konusunda da çok hızlı ilerleme kaydedilemedi. Thomas Newcomen'in işler haldeki atmosferik buhar makinesinin 1712 yılında ortaya çıkmasından James Watt'ın 1775 yılında başarılı bir buhar makinesini tamamlamasına kadar altmış yıldan fazla bir süre geçmiştir. Bu zaman diliminde Avrupa'daki teknolojik gelişimin aslında pek te hızlı olmadığını, bizim ise henüz yavaş ilerleyen teknolojik gelişimleri bile yakalamakta çok geç kaldığımızı söylemek mümkündür.

Madenlerde su ile mücadele hem çalışanların sağlığı, hem de rezervin verimli olarak kazanımı konusundaki en temel konulardandır. Madenlerde verimli su atımı yapılamadığı durumda şartlar çok zorlaşmakta ve bazen çalışma olanaksız hale gelebilmektedir.

Birim zamanda maden açıklıklarına gelen su tahliye edilen su miktarından fazla oluyorsa zamanla madenler su ile dolmaktadır. Eski dönemlerde su ile mücadele edilemediğinden mevsimsel değişiklikler neticesinde sadece dönemsel olarak işletilebilmiş çok sayıda maden vardı. Osmanlı'da pekçok madende su ile başedilmesi en çok zorluk çekilen konulardandı. Birim zamanda görece daha yüksek hacme sahip su atmak için insan gücüne bağlı pompalardan makine gücü kullanımına geçmiş olmak madencilik tarihi açısından bir devrim niteliğindedir. Güç birim zamanda yapılan işe eşittir ve birim zamanda atılan su miktarı kullanılan makinenin gücüne bağlıdır. Madenlerden yüksek hacim ile su pompalamak için çağının en gelişmiş makinelerini üreten Watt'ın ismi de onun anısına ve hakkı olarak güç birimine verilmiştir. Buharla çalışan pompalar sayesinde tek seferde suyun hareket ettirilebildiği kot farklarında da büyük artış olmuştur. Pascal yanlış bilgileri yıkararak bu alandaki teknolojik ilerlemelerin önünü açmıştır.

Bilinmeyene gizemli yalanlar uydurmanın bilgelik olmadığının anlaşılması ve doğru bilginin sınanabilir olduğu görüşünün 17. yüzyılda oturmasında rol sahibi olan isimlerden birisi de Blaise Pascal'dır. Kendi döneminden sonraki yıllarda önce buhar gücü ile sonrasında elektrikle çalışan pompaların bulunuşu onun açtığı yoldan ilerleyerek sağlanmıştır. Antik dönemden gelen, 10 metreden daha fazla suyun yükselemeyeceği yönündeki yanlış bilgiyi düzeltmiş, suyun yükselebileceği mesafenin oluşturulan basınç farkına bağlı olduğunu deneyle ispatlamıştır. Pascal gerekli basınç sağlanırsa 10

metreden suyun çok daha yüksek seviyelere çıkabileceğini açıklamıştır. Havanın vakumlandığından dahi haberdar olmayan, kullandığı basit aletlerin çalışma mekanizmalarını bilmeyen ilkel madenciler çağında, Pascal'ın deney ve buluşları çok değerlidir. Blaise Pascal'ın getirdiği yenilikler ve bilimsel buluşları günümüzde yüzlerce metre su basma yüksekliğine sahip pompaların kullanımını olanaklı hale getirmiştir. 19. yüzyılda etkisi artmış olan sanayi devrimine ayak uyduramamış ülkeler madencilik teknolojilerini zamanında geliştirememiştir. Bu ülkelerin sanayi devrimine uyum gösterememeleri konusunda 17. yüzyıldaki bilimsel devrimin anlaşılması temel sebeplerden biri olmuştur.

Madencilikle ya da geoteknik mühendsiliği ile ilgilenen kişilerin hergün ismini duydukları Pascal birimi metrekare alan başına gelen Newton (kuvvet) değeridir (Pa: N/m<sup>2</sup>). Basınç kavramından daha önce kuvvet kavramı biliniyordu. Ancak, basınç birimine ismini veren Pascal Newton'dan daha önce yaşamıştır. Newton'un ismi kuvvet birimi olarak kabul görmüşse de aslında Newton'dan daha önce de kuvvet kavramı bilinmekte ve kullanılmaktaydı. Daha önce de belirtildiği gibi, 17. yüzyıl öncesi ufak dereler gibi cılız olan bilimsel devrim için yaşanan gelişmeler 17. yüzyılda büyük nehirler gibi güçlenmiş ve yatağından taşmıştır.

Çoğu bilim tarihçisine göre bilimsel devrimin tamamlanması Newton ile yaşanmıştır. Newton bilimsel devrimin son darbesini vurarak modern bilimi kabul ettiren kişi olarak anılmaktadır. Newton'dan sonra Avrupa üniversitelerinde ortaçağdan kalma modası geçmiş bilgi

ve yaklaşımlar terk edilmiştir. Bilimsel devrimin en önemli kahramanlarından biri olarak Newton'un hayatı ve çalışmalarından bu başlık altında kısaca söz edilmelidir.

Isaac Newton annesi, üvey babası ve kardeşleri ile arasının pek iyi olmaması sebebiyle onlarla birlikte yaşamak istememiştir. Bunun üzerine annesi onu uzun süreden beri dostu olan Clarke ailesinin yanına pansiyoner olarak göndermek istemiştir. Eğitime devam eden bir çocuk olarak Isaac Newton'un Clarke'ların ailesinde bilime karşı ilgisi artmıştır. Bu evde misafirlerle akşam yemeklerinde ve sonrasında doğa felsefesi konuşuluyor, dönemin saygın araştırmacıları konuk ediliyordu. Entellektüel açıdan bu ev Newton'a iyi bir ortam sağlamış ve doğa felsefesine karşı ilgisini artırmıştır. Daha çocuk yaşlarında Newton Aristoteles fiziğinin eksiklerini farketmiştir. Aristoteles fiziğinin bir dini kutsal kitap gibi sorgulanmaksızın öğretilmesine karşı olmuştur. İyi bir dindar olan Newton, döneminin din adamlarının ve kilise yönetiminin de özellikle bilim üzerindeki devam ettirmeye çalıştıkları, ancak onun döneminde görece zayıflayan baskılarını eleştiriyordu. Daha çocuk yaşlarında ona öğretilen bilgileri sorgulayabiliyor ve genel olarak insanlarla arası pek iyi olmadığı için kendini doğa felsefesine verebiliyordu. Çocuk yaşlarında ahşap maketler yapıyor ve bunlarla çeşitli fiziksel modellemeler gerçekleştiriyordu. Newton'un kendisini bu denli doğa felsefesine vermesi, öğrendiği bilgileri sorgulaması onun öğretmenlerinin ve ev sahibi Bay Clarke'ın ilgisini çekmiş ve beğenisini almıştı. O diğer yaşlılarından daha farklıydı, yaptığı işe çok iyi konsantre olabiliyor,

öğrendiği bilgileri sorgulayabiliyor ve zekası ile parlak fikirler önerebiliyordu. Parlak bir genç olarak dikkat çeken Newton eğitime Cambridge Üniversitesi yerleşkesindeki Trinity Kolejinde devam etmek için önemli referanslar almış, annesi ve ailesinin maddi desteklerinden mahrum edilmesi nedeni ile muhtaç öğrenci sıfatıyla okula kaydolmuştur. Okuldaki masraflarını karşılamak için boş zamanlarında ailesi tarafından desteklenen öğrencilerin hizmetinde çalışmıştır. Newton hem para kazanmak için çalıştığı, hem de kendi eğitimi ve araştırmaları için yoğun zaman harcadığı için yorgun ve uykusuz kaldığı bir dönem geçirmiştir Trinity Kolejde. Ancak, hatırı sayılır profesörler bu içe dönük öğrencideki yeteneği görmüştür. Trinity kolejinin temel eğitim programı Aristocu bir bakış açısına yakındı. Newton ise başka bir görüşü benimsemişti, bu görüşü en iyi yansıtan ifadelerden biri defterine yazdığı şu sözlerle açıklanabilmektedir: “Platon ve Aristo benim arkadaşlarım, en iyi dostumsa gerçek”. Buradan anlaşılıyor ki, aldığı eğitim ve okul ortamı gereği Newton Aristo’ya sempati duyan bir fizikçidir. Ancak, onların dediklerinin hepsini sorgulamadan doğru kabul etmeyi de red eder. Newton Aristocu fiziğe son darbeyi vuran ve modern bilimin kuruluşunu kesin olarak ilan eden bir bilim adamı olarak anılmaktadır. Ancak bununla beraber kendisinin de Aristocu bir eğitimden geçtiğini söylemek gerekir. Onun farkı ise sorgulamak, yanlışları farketmek ve daha doğru bilgiler önermektir. Aristoteles’in fiziği nasıl Newton tarafından düzeltiliyorsa, Newton fiziği de günümüzde çokça yanlışlama almaktadır. Biz jeomekanikçiler için halen Newton fiziği

kullanıma devam etmektedir. Ancak, kuantum mekaniği gibi çeşitli alanlarda Newton fiziğinin yetersiz kaldığı tesbit edilmiş durumdadır.

Newton'un en büyük şanslarından biri Cambridge'de onu anlayacak, yeni fikirlere açık Isaac Barrow gibi bir profesörün olmasıdır. İngiltere'nin modern bilimin kuruluşundaki büyük role sahip bir ülke olmasını sağlayan bu gibi aydın bilim adamlarına sahip olması doğal karşılanmalıdır. 1665 yılında veba salgını sebebi ile Trinity Koleji bir yıl tatile girmiş ve Newton Cambridge'den ayrılmıştır. Bir yaz günü yalnızlığın tadını çıkarırken meşhur bir olay yaşanmıştır: Bir elma ağaçtan düşmüş ve bu durum Newton'u yeni sorular içine sürüklemiştir. Elma neden yere düşmüştür? Yerçekimi kuvvetini algılayan Newton Ay da bu çekimi hissedebiliyor mu diye sormuş, hissediyorsa neden elma gibi Dünya üzerine düşmüyor diye düşünmüş, bunun nedeni şüphesiz Huygens'in keşfettiği merkezkaç kuvveti olmalı diye bir görüşe varmıştır. Kendisini kütle çekim kanunu denklemlerine götürecek olan düşünce ve hesaplamalara yoğunlaşmıştır. Newton'un üzerine yoğunlaştığı kütle çekimi konusunda daha önce Kepler de önemli çalışmalar gerçekleştirmiştir. Newton kütle çekimi konusundaki işleyişi anlayana kadar uzun zaman geçmiş ve konu üzerine çokça yoğunlaşmaya ihtiyaç duymuştur. Newton kafasına takılan bir konuya öyle yoğunlaşabiliyordu ki yemek yemeyi ve zamanı dahi unutuyordu. Veba salgını tatilinden sonra Trinity Koleji'ne geri dönen Newton kütle çekimi konusundaki yeni bulgularını akıl hocası Isaac Barrow ile paylaşmıştır. Emekliliği yaklaşmakta olan ve Newton'un çalışmalarından etkilenen Barrow

yerini alması için Newton'u diğer profesörlere önerdi ve bu görüşü için kendisine yandaş topladı. 1669 yılında Newton Cambridge Trinity Kolejine Lucasian Matematik Profesörü olarak atandı. Bu ünvana sahip kişilerden biri de ünlü fizikçi Stephen Hawking'dir. Newton akademik hiyerarşi içerisinde hızlı bir şekilde yükselmiştir. Buradan anlaşılmaktadır ki o dönem İngiliz eğitim sistemi yeni fikirlere ve skolastik dönemden kalan kalıpları yıkmaya hazırdı.

1672 yılında Newton Kral 2. Charles'ın dikkatini çekiyor ve Royal Society of London'a giriyor. Ancak buraya girişinden sonra mesleki çekişmeleri artıyor. Özellikle o dönemler topluluk başkanı olan Robert Hooke (Hooke yay sabitlerinde ismi geçen kişi) ile tartışmalar yaşamıştır. Robert Hooke ile Isaac Newton'un ilk tartışmaya girdikleri konu optik alanında olmuştur. Newton beyaz ışığın saf olmadığını söyledi ve prizmadan geçen beyaz ışığın farklı renklere ayrıldığını gözlemlediğini belirtti. Daha önce beyaz ışığın saf ve ayrıştırılmaz olduğu düşünülüyordu. Newton'a göre ise beyaz ışık diğer farklı ışıkların karışımıydı. Newton'la tartışan kişiler olduğu gibi onu destekleyenler de olmuştur. Ancak, Hooke taraftarları daha baskın olmuş ve Newton'un enerjisini kırmış ve içine dönüklemiştir. Edmond Halley (Halley kuyruklu yıldızını keşfeden kişi) onun daha fazla içine kapanmasını engelleyecek önemli girişimlerde bulunmuştur. Newton dernekle bozulan ilişkilerinden Robert Hooke'u sorumlu tutmuş ve ondan nefret etmiştir. Bir noktadan sonra bu düşmanla mücadele etmek yerine dernekten kopmayı daha doğru bulmuştu. Dernekten ayrılırken "kesinlikle sonsuza dek veda

ediyorum, çünkü görüyorum ki bir insanın ya yeni hiç birşey üretmemesi veya ürettiği yeni şeyi savunmak için çile çekmesi gerekiyor” demiştir.

Newton dernekten uzaklaştığı bu dönemde kütle çekim konusuna yoğunlaştığı bilinmektedir. Newton’un bulguları ve eriştiği düşünceler Aristo’nun skolastik dönemde kabul gören ve öğretilen görüşlerinden tamamen farklıdır. İngiltere’de bu bulguların paylaşımı diğer ülkelerde özellikle daha önceki yüzyılda olduğu gibi dinsizlik olarak adlandırılmamaktaydı. Yani Newton’un işi Galileo’ya göre kilise ile mücadele açısından daha kolaydı. Ancak Newton’un işi onun düşmanı diğer doğa filozofları veya şimdiki adı ile bilim insanları tarafından zorlaştırılıyordu. 16. yüzyılda Aristo ile ters düşmenin dinsizlikle suçlandığı bir dönemden sonra 17. yüzyılda modern bilimin kuruluyor olması karşısında kilisenin sesi kısalmış durumdaydı ve artık Aristo’nun yanlışlarını savunamaz hale gelmişti. Avrupa bu noktaya erişmek için öncelikle humanizm, insanın değerini anlaşılması, insan zekasına güven, modern bilimin deneyci yönteminin kabulü gibi önemli aşamaları yaşamıştır.

Newton uzaklık ve çekim kuvveti arasındaki ilişkiyi formulize etmişti. Aslında bu konuda Kepler’in ürettiği öncül bilgilerden de faydalanmıştır. Daha sonra Hooke da Newton’dan bağımsız olarak kütleçekimi konusu ile ilgilenmeye başlamıştı. Hooke Newton’a bir mektup yazmış ve burada çekim her zaman merkeze olan mesafenin karesi ile ters orantılıdır” demiştir. Newton mektubu okurken gülmüş “ve kabadayı nihayet gerçekleri anlamaya başlıyor” demiştir. Newton



Hooke'un mektubunda yazdığı sonuçlara 15 sene önce ulaşmıştı ve Hooke ise çok geriden geliyordu. Aslında Hooke ta çeşitli alanlarda önemli buluşlar yapmış değerli bir doğa filozofuydu, ancak Newton ile bilimsel rekabetinden galip gelen taraf olamamıştır.

Edmond Halley birgün Newton'u Cambridge'de ziyaret etmiş ve o zamanda derneğin üzerinde durduğu kütle çekim konusu ile ilgili Newton'un fikrini almak istemiştir. Newton bu konudaki notlarını bularak Halley'e göndereceğini söyler ve sözünü tutar. Halley Newton'un bu konuda daha önce çok değerli çalışmalar yaptığını bilir ve bunları yayınlaması için Newton'u cesaretlendirir, teşvik eder. Newton kitap yayınlama konusunda başta çok istekli değilken Halley'in teşvikleri sonuç verir ve Newton kısaca "Principia" diye anılan "Philosophiae Naturalis Principia Mathematica" isimli kitabı latince olarak yazar. Newton döneminde halen bilim dilinin latince olduğunu görmemiz mümkündür. 1687 yılında ilk kez latince olarak yayınlanan kitabın İngilizce çevirisinin yayınlanması 1728 yılını bulmuştur. Dönemin bilim dilinde yayın yapmanın önem ve gereği Newton'un bir İngiliz olarak kitabını latince olarak yazmasından anlaşılabilir. 1687 yılında yayınlanan Principia kitabı yepyeni bir hareket fiziği ve kütle çekiminden bahsetmiştir. Newton yeni matematiksel kanıtlarla anlaşılabilir bir evrende yaşadığımızı ifade etmiştir. Simetrisi geometrik çözümler, sorgulamasız kabuller, skolastik dönem hurafeleri Principia kitabı ile tarihin mezarlığına gönderilmiş ve yeni mekanik yaklaşım artık bilime hakim olmuştur. Newton'dan sonra eski bilim, simyacılık, büyücülük sona ermiş veya

etkisi kalmamıştır. Newton da bir dönem simyacılık ile uğraştığı için ona “son büyücü” diyen bilim tarihçileri de vardır. Bilimsel devrim ve modern bilimin kurulması bir anda bıçakla kesilir gibi yaşanmamış, dereceli olarak ve adım adım gerçekleşmiştir. Newton ise modern bilimin kurulması için bu adımlardan sonuncusunu atmıştır.

Newton 1690’lı yıllarda bilimsel olarak zirvede olduğu dönemde de ara ara buhranlar yaşamış ve yine içine dönük olduğu dönemler geçirmiştir. 1699 yılında Fransız Bilimler Akademisi’ne seçilmiştir. 1703 yılında Hooke’un ölümünden sonra Royal Society’nin başkanı olarak seçilmiştir. 1705 yılında Newton bilime verdiği hizmetler dolayısı ile şovalye ilan edilmiştir. Newton mekanik, optik ve cebir alanlarında çığır açan bilimsel çalışmalar gerçekleştirmiştir. Alçak gönüllü bir kişiliğe sahip olduğu bilinen Newton “Daha uzağı görebilmişsem bu devlerin omuzları üzerinde durmam sayesindedir” demiştir. Alçak gönüllüğünü doğrulayan bir diğer ifadesi olarak Newton “Dünya’ya nasıl görüdüğümü bilmiyorum ama ben kendimi henüz keşfedilmemiş gerçeklerle dolu bir okyanusun kıyısında oynayan, düzgün bir çakıl taşı ya da güzel bir deniz kabuğu bulduğunda sevinen bir çocuk gibi görüyorum” demiştir.

Ömrünün son yıllarında kendini dini konulara vermiştir. Bilimsel zirveyi yaşadıkdan sonraki dönemlerde dine daha çok ağırlık vermiştir. Hristiyanlık konusunda kitap ve yazılar yazmıştır. Aynı zamanda simya ile ilgilenmiş olması da modern bilimi sarsılmaz şekilde kabul ettiren bir bilim adamı için şaşırtıcıdır. Newton’un modern bir bilim adamı olduğu ve kesinlikle üstün zekalı bir dahi olduğunu söylemek

doğru olur. Newton'un buluşları madencilik açısından önemlidir. Madencilik ve tünelticilik tasarımlarında gerilme (basınç) kavramı olmadan iş yapılması mümkün değildir. Kazı öncesi birincil gerilmelerin temel sebebi olan yerçekim kuvvetinin anlaşılması, kaya kütlelerinde yaşanan gerek yapısal, gerek kazı sonrası oluşan ikincil gerilmelerin kontrolünde duraysızlıklar açısından önemli bir konudur. Sırası ile kuvvet ve gerilme birimlerine ismini veren Newton ve Pascal'ın hayatları hakkında kısa da olsa bilgiye sahip olmak mühendisler açısından anlamlıdır. Bir kaya mekanikçi günde onlarca kez Newton ismini, onlarca kez Pascal ismini kullanır. Bu dillerden düşmeyen isimlerle ilgili kısaca bilgi aktardıktan sonra bir diğer önemli mühendislik parametresi olan Elastisite modulünü keşfeden Thomas Young'dan da kısaca söz etmenin isabetli olacağı düşünülmüştür. Ancak Thomas Young'a geçmeden önce bir konunun not edilmesinde fayda görölmektedir: kuvvete ismi verilen Newton, basınç birimine ismi verilen Pascal olsa da onlardan daha önce kuvvet ve basınç kavramlarını kullanan ve ilk mukavemet kitabını yazan kişi Galileo Galilei'dir. Galilei Kopernik'in önerdiği güneş merkezli sistemi savunduğu için Aristocu görüş ile çelişmiş ve kilise tarafından astronomi konuları ile ilgilenmesi yasaklanarak ev hapsine mahkum edilmiştir. Galilei'nin ev hapsine mahkum olması ve gök biliminden uzaklaştırılması bir dahinin yeni konulara yönelmesi açısından bir açıdan fayda sağlamıştır. Kopernik ve Kepler gibi Galilei de kalıplaşmış ve kilise tarafından kutsanmış antik dönem filozoflarından gelen yanlış düşüncelerden insanlığı kurtaracak, evreni daha doğru anlayabilmek adına çığır açan ve modern bilimin kuruluşundaki

sağlam kilometre taşlarını oluşturan öncü keşifler yapmış, ancak karşılığında ölüm cezasından zor kurtularak ev hapsine mahkum edilmiştir. Gökbilimi ile ilgilenemeyen Galilei teselliye mukavemet bilminde aradı ve bir bilim adamı olarak şöhretini artıracak bilim tarihindeki ilk mukavemet kitabı olan “iki yeni bilim” kitabını yazmıştır. Bu kitabı yazmak için çeşitli malzemelere yönelik deneysel çalışmalar gerçekleştirmiştir. Bu malzemeler içinde çeşitli kaya malzemeleri, taş duvarlar, ahşap malzeme ve sistemeleri, hayvan kemikleri gibi malzemeler mevcuttur. 1638 yılında yayınlanan bu kitap için İtalya’da kendisine kilise korkusu sebebi ile yayıncı bulamayan Galilei Venedik’li bir arkadaşının aracılığı ile Hollandalı yayıncı Louis Elsevier’a ulaşmıştır. Elsevier ise bu değerli kitabın yayınlanmasını derhal kabul etmiştir.

Yukarıda kuvvet ve gerilme birimlerine isimleri verilen önemli bilim insanlarından söz ettikten sonra, mukavemette bir diğer önemli parametre olan Young Modülü’nde ismi geçen Thomas Young’ın 1773 yılında İngiltere’de doğduğu söylenerek hayatından bahsetmeye başlanabilir. Üstün zekalı bir dahi olan Young’ın 3 yaşında okuma bildiği ve 14 yaşına geldiğinde ise 9 dil bildiği söylenmektedir. Bilim tarihinde daha çok fizik alanında çalışmaları ile kendinden söz ettiren Thomas Young üniversitede lisans eğitimini Tıp alanında almış ve 1796 yılında Tıp doktoru ünvanı ile Gotingen Üniversitesinden mezun olmuştur. 1797 yılında Cambridge Üniversitesine bağlı Emmanuel Kolejine girmiş ve burada fizik çalışmalarına ağırlık vermiştir. Fizik alanındaki başarılı çalışmalarından dolayı 1801 yılında Fizik

profesörü ünvanı almış, 1802 yılında ise Royal Society'e girmiştir. 1807 yılına kadar verdiği Fizik dersleri "Courses of Lectures on Natural Philosophy" adında bir kitapta yayınlanmıştır. Thomas Young 1807-1814 yılları arasında daha çok tıp çalışmalarına yönelmiştir. Bir dönem kendi özel muayenehanesini de açmış, Fizikçi ve Tıpcı kimliğine sahip olan Thomas Young 1813 yılından itibaren bir Mısırbilimci (Egiptolog) olarak çalışmalarına başlamıştır. İngiltere'nin Mısır'dan getirdiği veya yerinde incelediği eski Mısırca hiyeroglifler içeren tarihi eserlerdeki yazıları anlamak, Mısır yazısını çözmek için görevlendirilmiştir. Thomas Young antik Mısır dilinin anlaşılması için önemli katkılar sağlamış, birçok önemli Mısırca metni İngilizceye çevirmiş ve böylelikle Mısır tarihinin daha iyi anlaşılmasını sağlamıştır. Hiç bilmediği bir dili ve kurallarını çözebilmek yalnız üstün zekalı insanların başarılı olabileceği bir alandır. Farklı bilim branşlarında olduğu gibi dilbilimi ve Egiptoloji alanında da üstün başarılarla imza atmış olan Thomas Young'ın bilim tarihinde hakettiğinden daha az anılan bir deha olduğunu söylemek yanlış olmaz. Şuan British Museum'da sergilenen "Rosetta Taşı" gibi pek çok önemli eserdeki metni İngilizceye Thomas Young çevirmiştir.

1822 yılında Amerikan Bilimler Akademisi'ne onursal üye olarak seçilmiştir. 1827 yılında Fransız Bilimler Akademisi'ne ve 1828 yılında İsveç Bilimler Akademisi'ne seçilmiştir. 1829 yılında, 56 yaşındayken tekrarlayan astım rahatsızlıkları ve astım ataklarından dolayı vefat etmiştir. Çok yönlü bir kişiliğe sahip Young aynı zamanda hristiyanlık konusunda da yazılar ve bir de kitap yazmıştır. Bu kadar

farklı çalışma alanı yetmezmiş gibi müzikal harmoni konusunda da çalışmalar yapmıştır. Bir bakıldığında Fizik, Tıp, Dilbilimi, Egiptoloji, Müzik, ilahiyat gibi çok çeşitli alanlarda çalışmalar yapan Thomas Young için bazı bilim tarihçiler tarafından “Herşeyi bilen adamların sonuncusu” denmektedir. Thomas Young için en ön plana çıkan ünvan Fizikçilik olduğunu söylemek yanlış olmayacaktır. Fizik alanında da optik ve mekanik gibi birbirinden çok farklı alanlardaki araştırmalarla ilgilenmiştir.

Thomas Young’dan önce doğa filozofları ve bilim adamları ışığın çok küçük parçacıklardan oluştuğunu düşünmekteydi. Thomas Young ise ışığın parçacıklardan değil, dalgalardan oluştuğunu, renklerin farklılıklarının ise farklı titreşim frekanslarından kaynaklandığını söylemiştir. Bu konuda Royal Society üyeleri ile tartışmıştır. Genel olarak Thomas Young sözünü esirgemeyen bir insan olduğu için çalıştığı farklı kurumlardaki kişilerle tartışmayı sürdürmüştür. Özellikle Royal Society’deki kendi gibi düşünmeyen kişilerle girdiği tartışma ortamından dolayı dönemselsel olarak fizikten kısmen de olsa koparak dilbilimi ve egiptoloji alanlarına zaman ayırmıştır. Thomas Young Royal Society’de haksızlığa uğramış ve kendisi ile alay edilmiştir. Bu durum onun gururunu kırmış olmalıdır. Royal Society (Kraliyet derneği) ile savaş içinde olması ve sonrasında haksızlığa uğradığının anlaşılması bakımından kaderleri Isaac Newton ile benzerlik göstermektedir. Thomas Young hayattayken hakkı teslim edilmiş, savunduklarının doğru olduğu anlaşılmıştır. Bu sebeple daha huzurlu öldüğünü söylemek mümkündür.

Thomas Young'ın ilk bilimsel makaleleri tıp alanında olmuştur. Thomas Young ve öncesi dönemde doğa filozoflarının birbirinden çok farklı disiplinlerde çalışmalar yaptığı görülmektedir. Thomas Young'dan sonra ise istisnai durumlar dışında bilim adamları daha disiplinler çalışmaya başlamıştır. 19. yüzyıl sonlarında dilbilimci, ilahiyatçı, tarihçi, egiptolog, müzik harmonisi araştırmacısı, tıp doktoru, optik bilimci, mekanik bilimci gibi birbirinden çok farklı ünvanlar bir kişide toplanmamıştır. Thomas Young birbirine çok uzak disiplinlerle ilgilenen son bilim adamı olarak anılmakta ve daha önce de belirtildiği gibi kendisine bilim tarihçileri tarafından “herşeyi bilen son adam” ünvanı verilmektedir.

Thomas Young'ın mekanik bilimi konusundaki en önemli buluşu kendi ismi ile anılan Young Modülüdür. Mekanik bilimlerinden olan mukavemetin gelişiminde önemli yer tutan bu keşfin kavramsal olarak ilk sahibi aslında ünlü matematikçi Leonard Euler'dir. Euler bu modülün ölçülmesine yönelik herhangi bir deneysel çalışma yapmamış, ya da bunu yayınlamamıştır. Thomas Young ise kendi çağı için gelişmiş düzeneklerle farklı metal numuneleri kullanarak deneyler gerçekleştirmiştir. Thomas Young kullandığı farklı malzemeler için elastisite modülü değerleri ölçmüştür. Mukavemette halen kullanıldığı üzere Elastisite Modülü 1807 yılında Thomas Young tarafından “E” ile simgelenmiştir. Thomas Young deneylerinde boyda uzama göseteren çekme testi numunelerinin eninde daralma yaşandığını not etmiştir. Bu bulgu kuvvetin uygulandığı doğrultuya dik yöndeki birim deformasyonun kuvvet

yönündeki birim deformasyona oranı olan “Poisson oranı”nın keşfi için önemli bir altyapı sağlamıştır. Poisson oranı’na ismi verilen Denis Poisson Thomas Young’ın bıraktığı yerden konuyu ele alarak bir diğer önemli mukavemet bilimi parametresi olan Poisson oranı’ını keşfetmiş ve tanımlamıştır. Poisson çekme gerilmesi altında metal silindir şekilli numunelerin düşey ve yatay yönde birim deformasyon değerlerini ölçmüştür. Poisson “ $\nu$ ” ile simgelendirilen oranı için genel bir değer olarak 0.25 değerini önermiştir. Ancak, daha sonra Alman Fizikçi Franz Ernst Neumann (1798-1895) farklı malzemeler için genel bir Poisson oranı kullanılamayacağını ve farklı malzemeler için Poisson oranı değerinin değişiklik gösterdiğini keşfetmiştir. Franz Ernst Neumann deneylerinde metal numuneler dışında çeşitli kaya malzemesi numuneleri de kullanmıştır.

Gerilme, dayanım, birim deformasyon, deformasyon modulleri gibi kavramların keşfinin yanı sıra mukavemet bilminde daha detaylı incelemeler yapılabilmesini sağlayan bir diğer önemli buluş ise duraylılık ölçütlerinin geliştirilmesidir. Geoteknik için spesifik bir ölçüt olmamakla beraber kullanımı uzun yıllardır yaygın olan Mohr&Coulomb (MC) yenilme ölçütüne ismi verilen kişiler Christian Otto Mohr (1835-1918) ve Charles-Augustin de Coulomb’dur (1736-1806). Coloumb’un önerdiği yenilme ölçütünün detaylandırılmasını sağlamış olan Mohr kendi çağına ait en detaylı yenilme ölçütünü geliştirmiştir. Daha çok kayma düzlemlerinin kontrolü, şev duraylılığı ve istinat yapılarına gereksinim amaçlı geliştirilmiş Coloumb ölçütü



Mohr'un yeni yaklaşımları ile birleştirilerek MC yenilme ölçütü günümüzdeki şeklini almıştır.

Mohr daireleri yaklaşımını Coulomb'un yenilme ölçütü ile birleştirmenin beraberinde getirdiği çeşitli tartışmalı noktalar olsa da bu ölçüt halen yaygın kullanılmakta olan yöntemler arasında yerini korumaktadır. MC yenilme ölçütü genel katı cisimler için kullanılan bir ölçüt olmakla beraber, bu ölçütün temelini oluşturan Coloumb yaklaşımı özellikle toprak şev duyarlılığı analizlerinde kullanılmak üzere önerilmiştir. Mohr ise katı cisimler mekaniğinde kullanılacak genel bir yaklaşım geliştirmeyi amaçlamıştır. Kaya mekaniğinde kullanımı çeşitli koşullarda pek sağlıklı sonuçlar vermese de yenilme ölçütü kavramı konusundaki önemli katkılarından dolayı bu iki bilim kahramanına (Mohr&Coulomb) değinmeden geçilmeyecektir.

Fransız Fizikçi Coulomb Paris'te Collège des Quatre-Nations'da okumuştur. Coulomb üniversite eğitime tıp alanında başlasa da Pierre Charles Monnier'den aldığı matematik dersleri Coulomb'un tıp eğitimini bırakma kararını almasını sağlamıştır. 1757 ile 1759 arasında üniversitede okumayı bırakmış ve babasının onayıyla 1759'da Paris'teki askeri okul giriş sınavlarına katılmış ve 1761'de askeri okulu bitirmiştir. Bir asker olarak çeşitli mühendislik projelerinde görev almıştır. Bu sebeple fizikçi kimliğinin yanı sıra bilim tarihinde isminin mühendis olarak ta anılmasını sağlayacak önemli inşaat projelerinde çalışmıştır. 1761'den Fransız devriminin yaşandığı 1789 yılına kadar askeri mühendislik projelerinde görev almış, 1789 yılında ise Fransız devrimi patlak verdikten sonra

görevinden istifa edip emekli olmuştur. Askerlikten istifa etmesinin ardından bilimle ilgilenmeye devam etmiş ve daha sonra ölçüm birimleriyle ilgili olarak devlet tarafından tekrar göreve çağırılmıştır. 1806 yılında 70 yaşındayken vefat edene kadar kendini bilime adanmış bir deha olarak çalışmalarına ara vermeden devam etmiştir. Elektriksel iki yük arasındaki kuvvetin, yüklerin çarpımı ile doğru, yüklerin arasındaki uzaklığın karesiyle ters orantılı olduğunu belirleyen Coulomb kanununu geliştirmiştir. Coulomb, mekanik, elektrik ve manyetizma'nın tarihinde önemli bir isimdir. 1779'da sürtünme yasalarına ilişkin bir araştırmasını (Théorie des machines simples, en ayant égard au frottement de leurs parties et à la roideur des cordages) 20 yıl sonra da viskozite üzerine bir çalışmasını yayımlamıştır. Kendisinden etkilenen önemli bilim insanlarından birisi de Fransız Denis Poisson'dur. SI birim sisteminde elektriksel yükün birimi onun adına itafen Coulomb olarak isimlendirilmiştir.

Otto Mohr ise Coulomb'un vefatının 29 yıl sonra 1835'te Almanya'nın Holstein bölgesindeki Wesselburen'de dünyaya gelmiştir. 16 yaşındayken Hannover'deki Politeknik Okuluna gitmiş, 1855'te ilk çalışma hayatı başlamış, Hannover ve Oldenburg devlet demiryolları için demiryolu mühendisliği yapmış ve döneminin bazı ünlü köprülerini tasarlamıştır. Mohr mekanik teorilerine ve malzemelerin mukavemetine ilgi duymuştur. Sahadaki mühendislik kariyerinin yanı sıra iyi bir akademik kariyer sahibi olan Mohr 1867'de Stuttgart Politeknik'te ve 1873'te Dresden Politeknik'te mekanik profesörü

olarak çalışmaya başlamıştır. Mohr'un yapı teorisi ve malzemelerin mukavemeti üzerine birçok araştırma makalesi yayınlanmıştır.

Grafiksel çözümlenmelere meraklı olan Mohr bu konudaki çalışmalarını neticesinde 1882'de Mohr çemberleri olarak bilinen ve gerilme analizlerinde kullanılan ünlü grafiksel yöntemini geliştirmiştir. Ayrıca kafes giriş yer değiştirmeleri için Williot-Mohr diyagramını ve yapıların statik analizi için Maxwell-Mohr yöntemini geliştirdi; bu aynı zamanda kafes giriş düğümlerinin yer değiştirmesini ve her bir elemana etki eden kuvvetleri belirlemek için de kullanılabilir. Mohr 1900 yılında emekli oldu, ancak 2 Ekim 1918'deki ölümüne kadar Dresden'de bilimsel çalışmalarına devam etti.

Otto Mohr'un yenilme ölçütünü yakından tanıyan kaya mekanikçilerin analizlerde kullandıkları bir diğer önemli yenilme ölçütü ise Hoek&Brown yenilme ölçütüdür. Hoek&Brown yenilme ölçütünü kaya mekanikçiler için anlamlı kılan durum bu ölçütün kaya malzemeleri ve kaya kütleleri için önerilen spesifik bir ölçüt olmasıdır. Kaya Mekaniği biliminin çok önemli iki kahramanı olan Evert Hoek (1933- ) ve Edwin Ted Brown (1938- ) ikilisi İngiltere'nin başkenti Londra'da bulunan İmparatorluk Koleji'ne (Imperial College) bağlı Kraliyet Madencilik Okulunda (Royal School of Mines) birlikte görev yapmış akademisyenlerdir. Kraliyet Madencilik Okulu'ndaki bu iki kaya mekanikçi 1970'lerde ve 1980'lerde kaya mekaniği bilimi için çığır açan çalışmalar yapmıştır.

Profesör Edwin Ted Brown 4 Aralık 1938 tarihinde Avustralya'nın Victoria eyaletinde bulunan Castlemaine şehrinde doğmuştur. Melbourne Üniversitesi'nden sırasıyla 1960 ve 1964 yıllarında lisans ve yüksek lisans diplomaları almıştır. Kaya mekaniği alanında duayen isimlerden olan Avustralyalı Brown'ın akademisyenlik kariyeri 1965'ten 2001'e kadar 36 yıl devam etmiştir. Doktora derecesini 1969'da Avustralya'nın Queensland Üniversitesi'nden almıştır. Avustralya'nın James Cook Üniversitesi'nde öğretim görevlisi ve doçentlik yapmış, daha sonra Londra'daki Imperial College of Science and Technology'de Kaya Mekaniği Profesörü (1975-1987) olarak görev yapmıştır. Kraliyet Madencilik Okulu'nun 1983–1986 yıllarında dekanlığını da yapmıştır. Avustralya'ya döndüğünde Queensland Üniversitesi'nde Mühendislik Fakültesi dekanı olmuş, yine Queensland Üniversitesi'nin rektör yardımcılığı görevinde de bulunmuş ve 2001 yılında buradan emekliye ayrılmıştır. Akademik kariyeri boyunca çok sayıda danışmanlık projesinde yer almış, emekli olduktan sonra da Golder Associates şirketinde danışmanlık çalışmaları devam etmiştir. Uluslararası Kaya Mekaniği ve Kaya Mühendisliği Birliği'nin (ISRM) 1983-1987 yıllarında başkanlığını yapmıştır.

İngiltere'de olduğu yıllarda Hoek ile iyi bir çalışma ekibi oluşturmuş, inşaat ve madencilik sektöründen gelen çok sayıda işte yer alması kaya mekaniği biliminde çığır açan çalışmalarını yayınlamalarına olanak sağlamıştır. Hoek'un bu kapsamda önemli olan bazı ifadeleri vardır. Örneğin, Hoek aslında şev stabilitesi konusunun başlangıçta çok

hakim olmadığı bir konu olduğunu belirtir, ancak 1960'larda ve 1970'lerde ona sektörden o kadar çok iş gelmiştir ki bu çalışmaların onu bu alanda da uzmanlaştırdığını ifade etmiştir. Hoek'un Kraliyet Madencilik Okulu'ndaki kariyeri madencilik ve inşaat sektörü temsilcilerinin üniversiteler ile işbirliği yapmasının karşılıklı sağladığı gelişim konusunda güzel bir örnektir. Hoek İngiltere'de olduğu yıllarda ve sonrasında Dünya'nın çok farklı yerlerinde önemli mühendislik projelerinde görev almıştır. Hoek aslında üniversite lisans eğitimini Makine Mühendisliği alanında almıştır. Doktora çalışmasını Güney Afrika'nın derin madenlerdeki stabilite sorunları üzerine Cape Town Üniversitesi'nde gerçekleştirmiştir. Doktorasını tamamladığı yıl olan 1965 senesinde Kraliyet Madencilik Okulu'na giderek akademik hayatına orda devam etmiştir. 1975 senesinde Toronto Üniversitesi'nde Profesör olarak çalışmaya başlamıştır. Ancak çok geçmeden üniversiteden ayrılmış ve Golder Associates firmasında çalışmaya başlamıştır. Üniversiteden ayrı olduğu 12 yıl süren bu dönemde danışman olarak 20 farklı ülkede büyük kaya mühendisliği projelerinde görev almış olan Hoek 1987 senesinde tekrar Profesör olarak Toronto Üniversitesi'ndeki çalışmalarına dönmüştür. Hoek aktif çalışma hayatından 2013 yılında emekli olmuş, bu tarihten sonra bazı seminerler, eğitimler vermeye devam etmiştir.

Hoek 1960'lı yılların kaya mekaniği biliminin gelişmesi, araştırmacıların kaya mekaniğine yönelmesi açısından önemli yıllar olduğunu ifade etmiştir. Büyüyen mühendislik yapılarında yaşanan duraysızlık problemleri kaya mekaniğinin akademide daha çok

çalışılan bir branş olmasının zorunlu olduğunu göstermiş ve yeni araştırmacıları bu alana yöneltmiştir. Hoek'un kariyerinde çok aktif olduğu 1960'lar, 70'lerde konu ile ilgili akademide az sayıda araştırmacı olması da onun bilime sağladığı kattıklarını artırmıştır.

Hoek kaya malzemelerinin üç eksenli dayanım değerlerinin belirlenmesi için düzenekler geliştirmiştir. Yine kaya malzemelerinin direk çekme dayanımlarının belirlenmesi üzerine yeni yöntemler ve yeni düzenekler üzerinde çalışmıştır. Deneysel kaya mekaniği alanında laboratuvar boyutlu çalışmaların yanı sıra arazi ölçekli deneysel yöntem ve düzeneklerin geliştirilmesinde de yenilikler sağlamıştır. Kaya malzemesi ve kaya kütleleri için Hoek&Brown duraylılık ölçütlerini geliştirmiştir. Bu ölçütlerde kullanılmak üzere farklı karakterizasyon parametrelerinin kullanımlarını önermiştir. Kaya kütlelerinin mekanik özelliklerinin daha iyi anlaşılmasını sağlayan popüler kitaplar yazmıştır. Kaya mühendisliği tasarımlarında kullanılan ampirik (görgül) yöntemlerden biri olan GSI (Jeolojik dayanım indeksi) yaklaşımı Hoek'un kaya mühendisliğine sağladığı önemli katkılardandır. Ampirik yöntemler konusundan bahsedilmişken kaya mühendisliğinin yaygın kullanılan RMR ve Q gibi diğer yöntemleri geliştiren Bieniawski ve Barton'u da burada anmak gerekir. Hem Bieniawski, hem Barton iki önemli ampirik kaya kütle değerlendirme sistemini 1970'li yıllarda önermiştir. Bu yöntemler sahadaki gözlemsel çalışma bulgularına bağlı olarak önerilmiş ve günümüze kadar çeşitli açılardan farklı araştırmacılar tarafından revize edilerek geliştirilmiştir. Ampirik yöntemler kaya

mekaniği tasarımlarında tek başına kullanımı yeterli yöntemler olmasa da, numerik model ve analitik model gibi yaklaşımlarla birlikte tasarımlarda kullanılmaktadır. Ampirik yöntemlerin bir diğer avantajı ise pratik olarak kullanılabilir ve saha gözlemlerine dayanan yaklaşımlar olmalarıdır.

Yeraltı kazılarında ilk ampirik sınıflama sistemini öneren kişi geotekniğin akademide kurucusu olarak adlandırılan Karl von Terzaghi'den başkası değildir. Terzaghi (1883-1963) hem zemin mekaniği, hem kaya mekaniği tarihinde önemli kilometre taşları oluşturan çalışmalara imza atmıştır. Kaya mekaniğinin akademide yeni bir bilim dalı olarak kurulması 1960'larda belirgin olarak görülmüştür. Bu süreçten önce kaya mekaniği ve zemin mekaniği alanları araştırmacılar açısından iç içe gibi görünse de 1960'lı yıllar ve sonrasında modern kaya mekaniği akademide bağımsız bir bilim dalı olarak araştırmacılara ev sahipliği yapmıştır. Zemin mekaniği gibi kaya mekaniğinin de gelişiminde Terzaghi'nin açtığı yol kullanılmıştır. Geotekniğin en şöhretli bilim kahramanı olan Karl von Terzaghi 1883 yılında asker bir ailenin çocuğu olarak Prag'da doğmuştur. 7 yaşındayken 1890 yılında babasının vefatından sonra onla dedesi Karl Eberle ilgilenmiştir. Dedesi Viyana Teknik Üniversitesi'nden mezun başarılı bir makine mühendisidir. Terzaghi henüz 9 yaşındayken askeri yatılı okula kaydolmuştur. Buradan mezun olduktan sonra sivil liseye geçiş yaparak 1900 yılında mezun olmuştur. Aynı yıl Graz Teknik Üniversitesi'nde Makine mühendisliği okumaya başlamıştır. İki hocasınıninkiler dışında

çoğunlukla derslere çok ilgili olduğu söylenemese de 4 yılda bölümü bitirir, 1904 yılında mezun olur. Ardından bir yıl süre ile askere gider ve askerde daha öncesine dayanan jeolojiye olan ilgisi iyiden iyiye artmıştır. Hatta askerlik döneminde Geike'nin "Arazi Jeolojisine genel bir bakış" kitabını Almancaya çevirmiştir. Askerden döndüğünde Graz Teknik Üniversitesi'nde yüksek lisansa başlamış, ancak bu sefer lisans eğitiminden daha çok keyif aldığı jeoloji ve inşaat alanına ağırlık vermiştir. 1906 yılında Viyana'daki bir mütahitlik firmasında çalışmaya başlamıştır. Kendisinin jeolojiye karşı ilgisi sebebi ile bu alanda gelişim gösterir, şirketinin beğenisini kazanır. Zaman içinde danışmanlıklar yapmaya başlar ve tecrübelerine yenilerini katar. Bir yandan da doktora çalışmaları devam eder ve 1912 yılında "Dairesel tank tabanlarının hesabı" başlıklı doktora tezini tamamlar ve doktora derecesini alır. Doktora derecesini aldığı sürece kadar Avrupa'nın birçok ülkesinde ve Rusya'da mühendislik projelerinde yer alan Terzaghi 1912 senesinde doktorası bittikten sonra Amerika Birleşik Devletleri'ne büyük bir sulama projesi inşaatında görev almak üzere gider. Amerika'da tecrübelerini artırmış olarak 1914 yılında Viyana'ya gelir bir ortak bularak inşaat mühendisliği firması kurar, ilk işlerini alırlar ancak 1914 yılında 1. Dünya Savaşı patlak verdiğinden askere çağırılır ve üsteğmen olarak orduya katılır. Cephelerde geçen bir dönemin ardından 1916 yılında Dışişleri bakanlığına çağırılır, kendisine müttefik Osmanlı İmparatorluğu'nun Yüksek Mühendis Mektebi'nde (bugün adı İstanbul Teknik Üniversitesi) temel inşaatı dersleri vermesi için teklif sunulur. Bu teklifi sağlayan kişi de Graz Teknik Üniversitesi'ndeki hocası Professor Forcheimer'dir. 1916



yılıının Eylül ayında Terzaghi İstanbul'a gelir. Burada haftanın yarısı derslere girmekte, diğer kalan yarısında ise mümkün olduğunca zemin mekaniği konusunda kendi araştırmalarına zaman ayırmaktadır. İTÜ'de kendine o günün teknolojik koşullarıyla bir laboratuvar kurmuştur. Terzaghi İstanbul'daki döneminin en verimli yılları olduğunu söyler. Terzaghi zemin mekaniği tarihine geçecek birçok önemli çalışmayı İstanbul'da gerçekleştirmiştir. Ancak 1918 yılında Osmanlı'nın 1. Dünya savaşını kaybetmesi ile maaşların ödenmesinde aksaklıklar yaşanmıştır. Bir İstanbul aşığı olan Terzaghi'nin yüksek mühendis mektebinden ayrıldıktan sonra gittiği kurum Robert Kolejidir. Ancak burada geoteknik dersleri değil makine mühendisliği derslerine girmek zorunda kalmıştır. Robert Koleji yıllarında da geoteknik araştırmalarına devam etmiş ve bu çalışmalar modern zemin mekaniğinin kuruluş belgesi olarak kabul edilen "Erbaumechanik" kitabında yer almıştır. Terzaghi Robert Koleji yıllarında uluslararası makaleler yazmakta, uluslararası sempozyumlara katılmaktadır ve ünü artmaktadır. Türkiye'de hakettiği maaşı alamadığını düşünmesi ve daha büyük bir üniversitede yer almak istemesi üzerine Amerika'ya gözünü çevirmiştir. Neyakki Türkiye Terzaghi'yi elinde tutamamıştır. Terzaghi 1925 senesinde MIT'ye gitmiştir. Başlangıçta bir yıllığına MIT'den kabul alan Terzaghi burada 4 yıl kalmıştır. Ancak MIT(Massachusetts Institute of Technology) de ona gerekli değeri verememiş veya bunu vermekte çok geç kalmıştır. Terzaghi MIT'de insan ilişkileri konusunda bir takım sorunlar yaşamış, onun başarılarını hafife alan bazı kişilerle çekişmeler içine girmiştir. Terzaghi MIT'den ayrılacağı zaman maaşının iki kat artırılması teklif

edilir, ancak bunu ret eder. Terzaghi 1929 yılında Viyana'da kurulacak Geoteknik kürsüsünün başına geçmek üzere davet alarak Avusturya'ya döner. Viyana Teknik Üniversitesi yıllarında sahadaki aktif çalışmalarına, Avrupa ve Rusya'nın büyük mühendislik projelerinde danışmanlık yapmaya devam eder. 1938 yılında artan Nazi etkisinden rahatsızlık duyarak Amerika'ya tekrar gitme kararı alır. MIT'de asistanı olan ve beraberinde Avusturya'ya getirdiği Arthur Casagrande (1902-1981) 1938 yılında Harvard Üniversitesi'nde profesör olarak çalışmaktadır. Terzaghi Casagrande'ye yazar Harvard Üniversitesi'ne yarı zamanlı profesör olarak gelmek istediğini söyler ve Harvard Üniversitesi'nden olumlu yanıt alır. Yarı zamanlı profesör olmak istemesi sahada danışmanlık çalışmalarına devam edeceğinden dolayıdır. 1938 yılından sağlık sorunlarından dolayı seyahat etmeyi bırakacağı yıl olan 1960'a kadar Terzaghi sayısız mühendislik çalışmasında danışmanlıklar yapar ve Dünya'yı gezer. 1960 yılında Rusya'da bir tünel inşaatında bir mühendisle girdiği tartışma aktif kariyerini noktalamadan önce onu üzen bir gelişme olmuştur. Bu mühendis Terzaghi'nin kaya kütle sınıflama sistemi, tahkimata gelen yük hesapları ve geleneksel tahkimat anlayışının artık tarihe karıştığını ifade ederek, çağdaş tahkimat anlayışı ile tasarımların yapılmasının daha doğru olduğunu söylemiştir. 1950'li yıllarda prensipleri keşfedilen Yeni Avusturya Tünelcilik Yönteminin tünel inşaatlarında bir devrim yarattığını, 1950'li yıllarda çağdaş tahkimat anlayışının keşfedildiğini ve Terzaghi'nin kullandığı yöntemlerin artık geride kaldığını söylemiştir. Çağdaş tahkimat anlayışının tünelciliğe girişi konusunda daha detaylı

bilgi bu kitapta “geçmişten günümüze tünelticilik ve tahkimat malzemeleri” başlığı altında verilmektedir.

1960 yılı sonlarında yaşadığı rahatsızlıktan dolayı hastaneye gider ve sol bacağına keserler, daha öncesinde kalp krizi de geçirmiştir. Terzaghi'nin yoğun çalışma ve seyahat temposu tütün ürünlerini fazla kullanması ile birleşince sağlığından olur. Terzaghi'nin bacağına kaybetmesi onu derinden etkilemiş ve bir yazısında “hasta ve yakınlarının arzusu halinde hastaların hayatlarına son verilmesi için doktorların hastalara yardımcı olması gerekmektedir” ifadelerini kullanmıştır. 1962 yılında yakınlarına veda mektupları yazar, 1963 yılında 80. doğum gününü gördükten kısa bir süre sonra geotekniğin akademide kurucusu ve bir İstanbul aşığı olan Terzaghi vefat eder. Sıradaki başlık altında kaya mekaniğinin akademide kuruluş süreci daha detaylı olarak irdelenecektir.

Teknoloji ve Bilim insanları birbirinden bağımsız çalışsalar da bilim her zaman teknolojik atılımlar için altyapı sağlamıştır. Bilimsel altyapının olmadığı bir ülkede teknolojik devrimlerin yaşanmasını beklemek doğru değildir. Kaya Mekaniği'nin bir bilim olarak kurulması ve akademide yeni araştırmalarla detaylandırılması geoteknik mühendisliği teknolojilerinin gelişmesini sağlamıştır. Günümüz teknolojilerinin bu denli gelişmiş olmasını sağlayan eski dönemlerden bugüne yaşanan bilimsel gelişmelerdir.

### **3. Kaya Mekaniğinin Akademide Kuruluşu**

Tarihte bilimsel gelişmelerin ne seviyelerde olduğunu detaylı olarak bilmemiz maalesef mümkün olmamaktadır. Tarihten günümüze ulaşan eserler bize geçmişteki çeşitli uygarlıklar tarafından bilimde oldukça ilerlenmiş olduğunu gösterse de, yazılı kaynakların yakılması ve istilacı devletler tarafından bilgi birikiminin ortadan kaldırılması nedeni ile pek çok bilginin yeniden keşfine ihtiyaç duyulmuştur. Bu konuda çok sayıda örnekten birisi İskenderiye'deki kütüphanelerin Hristiyanlar tarafından yıkımı ve İskenderiye biliminin ortadan kaldırılma girişimidir. Bilimin ve bilim insanlarının desteklenerek özgür düşünce ikliminin tesis edilmesi sayesinde günümüzde halen hayret ile karşılanacak pek çok buluş İskenderiye'de yapılmıştır.

M.Ö. 273 - M.Ö. 192 yıllarında yaşayan İskenderiyeli Eratoshenes Dünya'nın çevresini gerçek değerinden sadece 800 mil daha az, 24000 mil olarak hesaplamış, Güneşin dünyadan uzaklığını ise 1 milyon mil daha az, 92 milyon mil olarak hesaplamıştır. Bu bilgilerin sonraki yüzyıllarda bilim insanlarına ulaşamaması veya geç ulaşması nedeni ile araştırmalar tekrarlanmıştır. Yazılı kaynakların kaybolması ve bilginin yazılı kaynaklar ile aktarılamaması konusunda benzer durum Roma teknolojisinin için de geçerlidir. Rönesans İtalya'sında gerekli bilgiye sahip olunmaması nedeni ile şehirlere su taşımak amaçlı yapılan tasarımlar için Roma yapıları incelenmiştir. Roma İmparatorluğu içerisinde su işleri ile ilgili bir devlet kurumu bulunması sebebiyle su taşıma konusundaki bilgi birikimi

imparatorluk sınırları içerisinde birbirinden çok uzak noktalara yansımış ve dönemin önemli tünel ustaları yetiştirilmiştir.

Bazen suyu şehre taşımak ve bazen de suyu şehirden taşımak için Roma İmparatorluğu önemli mühendislik uygulamaları gerçekleştirmiştir. Bu konuda, bazı Roma İmparatorları ne pahasına olursa olsun büyük projelerin gerçekleşmesini sağlamışlardır. M.S. 41 ve 54 yılları arasında Roma İmparatoru olan Claudius, Roma şehrine yaklaşık 90 kilometre mesafede bulunan Fucino gölünün sularını tamamen direne etmek ve bu alanı verimli bir tarım arazisine çevirmek için 5.8 kilometre uzunluğunda, derinliği 120 metreye ulaşan bir tünel kazılmasını emretmiştir. Günümüzde İtalya'daki verimli tarım alanlarından birinin üzerinde, 2000 yıl önce uzunluğu 18 kilometre, eni 11 kilometre olan bir gölün olduğunu düşünmek, o çağın şartları altındaki bu vizyonun günümüz makinaları ve teknolojisi ile buluştuğunu hayal etmek heyecan vericidir.

Roma imparatorluğunun pek çok sayıda önemli tünel ve su kanalları inşaatları olmuştur. Uzunluğu 1 kilometreyi bulan ve 30 m<sup>2</sup> dolaylarında kesit alanına sahip tünel kazılarını M.S. 2. yüzyılda mühendislik harikası olmaktan çıkarıp normal bir uygulama haline getiren Roma, madencilik faaliyetleri için de çağının en önemli örneklerini sergileyerek 200 metre derinliklere kadar yeraltı madenlerinde kazı yapmıştır.

Yunan bilimi ve Roma bilimi arasındaki temel fark, Yunan biliminin daha saf olması ve doğayı daha iyi anlamak için yapılmış olmasıydı.

Ancak, Roma bilimi uygulamaya dayalı daha çok büyük mühendislik projelerinin gerçekleştirilmesine yönelik ampirik yöntemlere dayanmaktaydı.

Kaya Mekaniğinin bir bilim dalı olarak akademide doğuş öyküsüne değinmek için, öncelikle bilimin felsefeden ayrılmasına kısaca değinmek isabetli olacaktır. Bilimin kuruluş öyküsü içerisinde şüphesiz ki Yunan ve Romanın yanı sıra Mısır ve Mezopotamya uygarlıklarının önemli katkılarına yer verilmedi.

Mekanik bilimlerinin kuruluşunda en önemli basamaklardan bazıları Aristoteles (M.Ö. 384 – M.Ö. 322) tarafından “Fizik” adlı kitabının yazılarak Fizik’in kurulma süreci ve mekanik biliminin gelişerek ilerleyen yüzyıllarda farklı malzemelere yönelik detaylandırılmasıdır. Aristoteles’in “Fizik” adlı eseri, modern mekaniğin kuruluşu için Galileo Galilei (1564-1642), Isaac Newton (1642-1727), Robert Hooke (1635-1703), Edme Mariotte (1620-1684) gibi fizikçiler tarafından büyük adımların atıldığı 17. yüzyıla kadar Avrupa’da çoğu okulda tartışmaya dahi kapalı tutulan temel kaynak olarak okutulmuştur.

Fizik bilimlerinin en eski olanı mekanik, rijit cisimler mekaniği (statik, dinamik) ve sürekli ortamlar mekaniği (mukavemet veya katı mekaniği, akışkanlar mekaniği) olmak üzere iki ana kısımda ele alınabilir. 15. yüzyıla kadar sürekli ortam mekaniği üzerine eserler ağırlık kazanmamış olup, bu konuda öncül çalışmalardan bazılarını ünlü İtalyan bilim adamı ve sanatçı Leonardo da Vinci (1452-1519)

halatların taşıma kapasitelerine yönelik çekme testleri ile gerçekleştirmiştir. Mukavemetin yeni bir bilim dalı olarak sunulduğu ilk kaynak 1638 yılında yayınlanan “İki Yeni Bilim” ismi ile Galileo Galilei (1564-1642) tarafından yazılan kitaptır. Galilei bu eserinde ahşap, hayvan kemiği ve kaya malzemelerine yönelik uyguladığı dayanım testlerine yönelik bulgularını paylaşmış ve eğilen kirişlere yönelik yaklaşımlarını da önermiştir.

Deneysel, ampirik yöntemlere ek olarak, 17. yüzyılda matematiksel çözümlere de dayalı olarak mukavemet bilim dalının hızlı ilerleyişinin başlaması ile derinleşen bilgi birikimi ve özellikle sanayi devrimi ile taşıma, ulaşım ve yapılaşma ihtiyaçlarına paralel olarak sayısı artan kaya ve zemin mühendisliği uygulamaları neticesinde jeomekanik bilim dalının kurulması için gerekli altyapıya 19. yüzyıl sonunda sahip olunmuştur. Jeomekanik bilim dalının akademide kuruluşunun Viyana Teknik Üniversitesi Profesörü Josef Stini'nin (1880-1958) “Ingenieurgeologie” (Mühendislik Jeolojisi) derslerini başlatması ile yaşandığını görüşü mevcuttur. Ancak, pek çok araştırmacıya göre Jeomekanik'in akademide kuruluşu için asıl kilometre taşı Karl Von Terzaghi'nin 1924 yılında çalışmalarını “Erdbaumechanik” (Toprak mekaniği) adlı kitabında toplaması ile yaşanmıştır ve bu sebeple Karl Von Terzaghi (1883-1963) “Jeomekaniğin babası” olarak adlandırılmıştır.

Karl von Terzaghi döneminde kaya mekaniği henüz ayrı bir bilim dalı olarak ele alınmıyor olsa da, kendisi bu konudaki gereksinimi dile getirmiştir. Bilim disiplinlerinin zaman ile gelişimi neticesinde diğer

bir bilim dalından ayrılma süreci yaşanmaktadır. Kaya mekaniğinin bir parçasını oluşturduğu genel yer malzemeleri (zemin ve kaya) mekaniği ile ilgilenen Jeomekanikten ayrı bir bilim dalı olarak incelenmesi 20. yüzyıl ortalarında gerçekleşmiştir. Bu sürecin önemli adımları 20. yüzyılın ilk yarısında atılmıştır.

Fizik bilimlerinin en eskisi olan mekaniğin büyüyen bölünmeler yaşaması ve kaya mekaniğinin bağımsız bir bilim dalı olarak 20. yüzyılda kuruluş öyküsünün kısaca incelenmesi için yaşanan bazı önemli gelişmeler bu başlıkta irdelenecektir.

İnsanlık çeşitli zamanlarda büyük bilimsel atılımlar yapmış olup, 17. yüzyıl, modern bilimin kuruluşu için günümüz bilimleri ve üniversiteler tarihi açısından önemli bir milat olarak kabul edilmektedir. 17. yüzyıl, dönemin Avrupası'ndaki kilisenin baskılarından bağımsız olarak bilim insanlarının çalışmalarını yürütmeye başladıkları, kilisenin bilim üzerindeki baskılarının kalkmakta olduğu ve bilimin yeniden doğduğu yüzyıldır.

Dünya üzerinde birbirinden habersiz olarak yaşayan pek çok uygarlık tarihin farklı dönemlerinde bilimlerini ileri seviyelere taşıyabilmişlerdir. Bilim tarihindeki yaşanan gelişmelerin nedenini temel olarak iki başlık altında incelemek mümkündür. Bunlardan ilki, dünyayı ve evreni anlama isteği, bir diğeri ise insanların hayatlarını iyileştirmek ve refah seviyesini artırmak amaçlı bilimi kullanma eğilimleridir. Batı medeniyetleri tarihindeki iki büyük uygarlık olan Romalılar ve Yunanların bilimleri arasında temel fark ta bu noktaya



dayanmaktadır. Yunanlıların kurduğu okullarda daha çok doğayı anlayabilme üzerine saf bilim öğrenmek için çalışılmıştır. Bu okullar kendi içlerine kapalı görülseler de özellikle M.Ö. 5. ve 4. yüzyıllarda buralardan mezun sofistler halkın da bilime olan ilgisi sayesinde gezerek para karşılığı felsefe ve bilim dersleri vermiş, bilim ile ilgilenerek geçimlerini sağlayabilmişlerdir. Halkın desteklerinin yanı sıra bu dönemde pek çok okul ülke yönetimleri tarafından da maddi olarak desteklenmiştir.

Romalılar her ne kadar Yunanlıların saf bilimine önem vermeseler de bilime büsbütün yabancı kalmamış, büyük mühendislik projeleri nedeni ile pratik uygulamalarda üstünlük ve önemli bilgi birikimi sağlamışlardır. Roma döneminin sona ermesinden sonra Avrupa için karanlık bir dönem başlamıştır.

Bu dönemde, bilim ve felsefede öncülük Müslümanların eline geçmiş durumdadır. Başlangıçta çeşitli Hint, Roma ve Yunan eserlerin çevirileri ile başlayan ilgi devam ederek büyük bilim insanlarının yetişeceği bir ortam sağlanmıştır. Batı karanlık içerisindeyken, çok sayıda araştırmacı Orta Doğu'ya göç etmiş ve buralarda araştırma merkezleri, okullar kurmuştur. Müslüman coğrafyasında farklı inanca sahip bilim insanlarına büyük hoşgörünün olduğu bu dönemde, çok sayıda Arapça eser bilime kazandırılmıştır. 8. Yüzyıl sonlarında Halife Harun El-Raşid önemli bilim eserlerinin Arapçaya çevrilmesine büyük hassasiyet göstermiş ve sonra gelen halifeler de bu yolu izlemişlerdir. Bizans'a, Hindistan'a kültür elçileri göndermiş, bilimsel eserleri toplama, koruma sağlamışlardır.

Tarihteki her medeniyet gibi Araplar da zamanla zayıflamış, altın çağını tamamlamış ve gerileme sürecine girmiştir. Arapların Avrupa'dan çıkmalarının ardından çok sayıda Arapça eser Latinceye çevrilerek dönemin üniversitelerinde temel eserler olarak okutulmuştur. Arapça kaynakların Latinceye çevirileri için dönemin İspanya'sında ve İtalya'sında özel çeviri komiteleri oluşturulmuştur. Bu çalışmalar, Avrupa'nın modern üniversitelere geçiş sürecinde önemli altyapı sağlamıştır.

14. yüzyıla kadar bilim manastırın elinde tutuluyor ve bu kurumlar aynı zamanda üniversite gibi çalışıyor olsalar da, 12. yüzyılda başta İtalya olmak üzere dini bir kurum olmayan yeni üniversiteler kurulmuştur. Ancak, Rönesans'a kadar Avrupa'da bilim genel bir durgunluk yaşamıştır. Çinlilerin yüzlerce yıl önce icat ettikleri baskı araçlarının Avrupa'da bulunması 15. yüzyılı bulmaktadır. El yazmalarından çıkılarak matbaa kullanımı ile görece ucuz kitap edinme ve okuma olanakları artar. Avrupa'da matbaalarda önce dinsel ve klasik edebi eserler basılırken, bilim kitapları da kısa süre içerisinde basılmaya başlanır. 16. yüzyılda derecikler biçiminde akan Avrupa'daki bilim, 17. yüzyılda kabaran ve taşan nehir görünümü kazanmıştır. 17. yüzyılda ortam, bilimin yeni bir hız ve güç ile doğuşuna hazırdır.

Şüphesiz Avrupa'nın aydınlanma sürecine girmesine skolastik düşünce dönemlerinde de birçok çağının ilerisindeki bilim insanı katkı sunmuş ve 17. yüzyıldaki bilimsel sıçrama için alt yapı sağlamıştır. İngiliz Roger Bacon (1219-1292) bu konuda değinilmesi gereken bir

bilim insanıdır. Roger Bacon'un yaşadığı dönemde tamamen kalıplaşmış ve miskinleşmiş bir bilimsel ortam bulunmaktaydı. Bilime kazandırılacak yeni bir bilgi öncelikle incile göre değerlendirilerek bir elekten geçirilip, daha sonra Aristoteles gibi önemli antik dönem yazarlarının eserlerine ters düşmüyor olması sorgulanırdı. Bu dönemde bilime gereken önemi veren çok kısıtlı sayıda topluluk mevcuttur ve Roger Bacon'un bağlı olduğu gibi manastırlardaki az sayıda tarikat Avrupa'da modern bilimin doğuşu için büyük katkı sağlamıştır.

Roger Bacon bilimin deneye dayanması ve kesin bilginin gözlenebilir olmasını savunmuştur. Aksi taktirde, diğer yaklaşımların tahminden ibaret kalacağını savunmuştur. Roger Bacon'un bu görüşünün ne denli değerli olduğunu anlamak için skolastik düşünce döneminde Avrupa'nın Aristoteles'in kitaplarında yazılanları kesin doğru bilgi olarak kabul ettiğini ve Aristoteles'in öğretilerinde bilimsel olarak eksikliklerin olduğunu tartışmanın hiç te kolay olmadığını hatırlamak gereklidir. Roger Bacon skolastik düşünceyi eleştiren bir aydındır, dönemin filozof ve bilim adamlarının antik dilleri iyi bilmemesinden dolayı da büyük hatalara düşüldüğünü söylemiştir.

Roger Bacon'un modern bilimin kuruluşundaki attığı adımlar dönemin katı kalıplar içerisinde her türlü bilginin vahiy ve Aristoteles mantığında gösterildiğini savunan kiliseleri tarafından hoş karşılanmamıştır. Bu dönemde, deneysel olgulara başvurmanın gerekliliğini savunmak oldukça zor olmuştur. Ancak, bu atılımlar ile 13. yüzyılda yeni ve aydınlık bir dönemin ilk belirtileri verilmiştir.

İnsanlık artık gerçeği antikçağ yazarlarının kitaplarında değil, doğrudan doğayı inceleyerek aramaya başlayacaktı. Ancak, skolastik düşünce ikliminin son bulabilmesi için Avrupa’da yüzyıllarca bilim insanları ve aydınlar tarafından mücadele verilmiştir.

16. yüzyıl sonlarında skolastik felsefe yerini gerçeklere dönük özgür araştırma ve öğrenme çabasına bırakarak, 17. yüzyılda Avrupa’da tekrar özgür düşünce iklimi tesis edilmiştir. Bu kazanım açısından Rönesans etkileri süreci hızlandırmış ancak çok hızlı sonuç verememiştir. Bilim tarihinde, oldukça yaygın bilinen bir örnek olması açısından, 17. Yüzyıl başlarında halen incile ters düştüğü düşünüldüğü söylenerek, Dünyanın yuvarlak olduğunu söyleyen Galileo Galilei (1564-1642) kilise tarafından ölüm cezasına çarptırılmış ve sonra kiliseden özür dilemesi üzerine hapis hayatı ile yaşamına izin verilmiştir.

Rönesans’ın ilk yıllarında dönemin aydınları blimsel gelişmeler ile ilgilenmiyor ve Christopher Columbus (1451-1506) tarafından gerçekleştirilen göz kamaştırıcı keşifler bile etkisiz kalıyordu. Rönesans döneminde modern bilimin doğuşunu müjdeleyen gelişmeler pek çok zaman seçkinler tarafından değil, atölye ve benzeri iş yerlerinde kazanılan teknik bilgiler ile sağlanmıştır. O dönemin ünlüleri sanat, tarih ve politika alanında yetişmiştir. 15. yüzyıl Avrupasında az sayıda fen bilimlerinde ün kazanmış kişiden birisi Leonardo da Vinci (1452-1519) de aynı zamanda sanatçı (ressam ve heykeltıraş) kimliği ile ün kazanmış bir aydındır.

Bilim tarihçisi Cemal Yıldırım (1925-2009), “Rönesansın bir katkısı insan kafasını evrene açmak, bir diğer katkı da Leonardo da Vinci’yi insanlık tarihine armağan etmektir” demiştir ve Leonardo da Vinci yazmayı tasarladığı kitapları yazma fırsatı bulabilseydi, bilimin sonraki dönemlerinde bazı hatalara düşülmeyeceğini belirtmiştir.

Leonardo da Vinci mekanik, jeoloji, biyoloji gibi birçok farklı alanda araştırmalar yapmıştır. Projeleri arasında uçan makinalar, helikopter, paraşütler ve çeşitli savaş aletleri bulunmaktaydı. Mekanik biliminin öncülerinden olan Vinci, birçok temel mekanik bilgisini bilime kazandırmış ve çağının önemli görüşleri ile bilim tarihine geçmiştir. Örneğin, kuvvetin ivmeyi meydana getirdiğini açıkça ifade etmiştir. Bu görüş daha sonra Newton tarafından da herkesin bildiği 1. yasa olarak ifade edilecekti. Katı mekaniğinin yanı sıra, akışkanlar mekaniği ile de ilgilenmiş ve Archimedes’in (M.Ö. 287-M.Ö. 212) hidrostatik ve hidrodinamik üzerinde unutulmuş buluşlarını ortaya çıkarmış ve kendisi de bu alana yeni görüşler kazandırmıştır. Leonardo da Vinci’nin büyük bir Archimedes hayranı olduğunu söylemek mümkündür.

Leonardo da Vinci pek çok bilim tarihçisine göre jeolojinin kurucularındandır. Ancak, antik Yunan döneminde, Roma’da, Mısırda veya Mezopotamya uygarlıklarında olduğu gibi bilimin ilerlediği toplumlarda insan hayatındaki gözlemlerin temel bir parçası olan jeoloji üzerine bilgi birikimi olduğu bu noktada hatırlanmalıdır. Vinci yüzey şekillerinin oluşumu, zemin hareketleri ve kayaların oluşumu ile ilgili görüşler ortaya atmıştır. Bu alanda, birçok önemli gözleme

dayalı veri elde etmiştir. Leonardo da Vinci'nin mekanik biliminde devrim yaratan buluşlarının yanı sıra yer bilimleri ile de ilgilenmesi kendinden yüzlerce yıl sonra akademide bir bilim dalı olarak doğacak olan kaya mekaniği için önemlidir.

Leonardo da Vinci de Roger Bacon gibi bilimin gözlem veya deneye dayanması gerektiğini ifade etmiştir. Kuşkusuz, geçmişi yadsımıyor olsa da, Aristoteles'in kitaplarında yazanları tartışmasız doğru bilgi diye kabul etmeyi yanlış buluyordu. Geçmişten gelen kalıplaşmış bilgilerin sınanması gerektiğine inanıyordu. 15. yüzyıldaki Avrupa'nın kalıplar üzerine kurulmuş, kilisenin kontrolündeki bilim ortamında Leonardo da Vinci'nin görüşleri oldukça değerliydi ve 17. yüzyılda "Newton Fiziği"nin kuruluşu için akademide yaşanan modernizasyon açısından önem taşımaktaydı.

Günümüze ulaşan madencilik ve kısmen kaya mühendisliğine yönelik ilk teknik kitap, latince ismi Georgius Agricola (1494-1555), asıl ismi George Pawner (günümüz almancasında çiftçi anlamına gelen Bauer) olan alman bilim adamı tarafından latince yazılmıştır. 1556 yılında yazarının ölümünden bir yıl sonra yayınlanabilen "De re Metallica" adlı 12 ciltlik kitap madencilik ve metalurji alanındaki gelişmeler açısından uzun yıllarca temel bir kaynak olmuştur. Bu kitabın ön sözü ise devrin ünlü hümanisti Erasmus tarafından yazılmıştır. Agricola'nın döneminde bilim dilinin latince olmasının yanı sıra, bilim insanların da latince isimler kullandıklarını görmekteyiz.

“De re Metallica”nın İngilizceye tercümesi ise 1912 yılında ABD eski başkanı ve profesyonel bir maden mühendisi olan Herbert Hoover ve eşi Lou Henry Hoover tarafından yapılmıştır. Agricola da Leonardo da Vinci gibi gözleme dayalı bilgiye değer vermekteydi. Modern bilimin kurulmasını ve kalıplaşmış antik dönem bilgilerinin sınanmasını savunuyordu. Avrupa’daki Rönesans bilimsel gelişmesinin öncülerinden birisi olmuş ve eserleri kendinden sonra gelen yer bilimcilere ilham vermiştir. Kendisinin “De re Metallica” adlı eserinden başka “Nature Fossilium” adlı bir eseri de vardır.

Bilimdeki ilerlemer neticesinde 17. yüzyıldaki büyük ivmeyi hazırlayan bir diğer bilim adamı ise Francis Bacon’dur. Kendisi yalnız bir bilim adamı ve filozof olmakla kalmayıp siyasi olarak ta önemli görevler üstlenen bir kişi olduğu için görüşleri başta İngiltere’de olmak üzere Avrupa’da yankı uyandırmıştır. Francis Bacon (1561-1626), Kraliçe 1. Elizabeth’in adalet bakanı Nicholas Bacon’ın oğludur. Cambridge üniversitesinde hukuk okumuştur ve avukatlık yaparken bir taraftan da siyasi bir kariyer için çalışmıştır. 1584’te parlamentoya seçilmiş, 1603’te Kraliçenin veliahtı 1. James tahta geçince hızlı bir şekilde önemli mevkilere sahip olmuştur. Önce "Sir" unvanı almış, sonra 1606’da başsavcı ve 1618’de ise İngiltere başyargıcı olmuştur. “The Advancement of Learning” adlı kitabı Francis Bacon’un ömrü boyunca üzerinde duracağı fikirlerinin temelini atmış kendisinin ilk felsefi çalışmasıdır. Bu eser çok geniş bir alanı kapsıyor ve birçok farklı bilim dalı için yeni yaklaşımlar

geliştirilmesini ısrarla savunuyordu. Francis Bacon, yeni bilimsel yöntemi tümevarım yöntemi olarak açıklıyordu.

Bacon'un insana olan güveni dikkat çekicidir. Bacon, bilimle yapılacak keşiflerin insanı üstün kılacağını düşünmekteydi. Bu görüşler Bacon'un yaşadığı döneme göre hayalperest niteliktedir, ancak bu düşünceleri ile İngilizlerin sanayi devrimi ile gerçekleştirdikleri atılımı sağlayan tohumları atmıştır. Bacon'a göre bilim, doğanın özüne yönelmelidir, doğayı deneyle kavramaya çalışmalıdır. Bacon yapıtlarıyla bilimin ve felsefenin gelişimini göstermiş, doğa ve akıl arasında bir bağ kurulabileceği fikrini yerleştirmiştir.

Eski dönemde bilim dalları henüz fazla detaylanmamış olduğu için bilim insanları aynı anda farklı bilim disiplinleri ile ilgilenmişlerdir. Ancak, 17. yüzyılda yaşanan bilimsel devrim ile derinleşmenin başladığı ve 18. yüzyılda temel bilimlerin iyiden iyiye şekillenerek alt dallarına ayrıldığı görülmektedir. 17. yüzyılda mukavemet biliminin kurulması kaya mekaniğinin akademide doğuşu için temellerin atılması anlamındadır. Sıradaki paragraflarda 17. yüzyıldan itibaren yaşanan, mekanik bilimindeki önemli gelişmelere değinilmiş ve 20. yüzyılda kaya mekaniğinin akademide yeni bir bilim dalı olarak yerini alması için atılan önemli adımlar özetlenmiştir.

Galilei'nin kilise tarafından hapis hayatına mahkum edilmesi, onun astronomi konusundaki çalışmalarını kısıtlamış ancak mukavemetin akademide yeni bir bilim olarak doğuşunu hızlandırmıştır.



Mukavemetin yeni bir bilim olarak ilk kez Galileo Galilei'nin ahşap, hayvan kemikleri ve kaya malzemeleri üzerinde gerçekleştirdiği dayanım testleri neticesinde yazılan ve 1638 yılında yayınlanan "İki Yeni Bilim" isimli kitabı ile kurulduğu kabul edilmektedir.

Mukavemet bilimine önemli katkı sağlayan bir diğer bilim adamı ise yaylar üzerine çalışmaları ile oldukça meşhur olan Robert E. Hooke'tur. Robert E. Hooke (1635-1703) mekanik konusunda önemli bir deha olmasının yanı sıra dönem İngiltere'sinin akademik çevresinde saygı duyulan ve bilimsel çalışmaları neticesinde önemli bir servete sahip olan bir araştırmacıydı. Avrupa'daki aydınlanmayı sağlayan önemli bilim insanlarından biri olan Robert Hooke aynı zamanda kraliyet ailesine yakınlığı ile akademide önemli sorumlulukları üstlenmiştir. Kendisinin İngiliz akademisinde dönemin en üst mercisi olan Kraliyet derneği'nde ve Kraliyet derneğinin öncülü, Robert Boyle'un (1627-1691) önderliğinde toplanan "Invisible College" içerisinde önemli bir yeri vardı. Rober Hooke'un temellerini attığı pek çok mekanik bilgisi halen günümüze ışık tutuyor olsa da, kendisinin Sir Isaac Newton (1643-1727) ile yaşadığı tartışmalar sonucu "Newton mekaniği" üzerine çalışmaların yayınlanması gecikmiştir. Robert Hooke ile yaşanan tartışmaları sonucu Newton "Principia" adlı kitabını yayınlamama kararı almıştır, bunu o fikirden vazgeçtiren ise Halley kuyruklu yıldızını keşfeden kişi İngiliz gökbilimcisi Edmond Halley (1656-1742) olmuştur.

15. yüzyılda Vinci'nin halatlara yaptığı taşıma kapasitesi testlerinden 17. yüzyıl sonlarına kadar en göz kamaştırıcı deneysel çalışmaların

Fransız fizikçi Edme Mariotte (1620-1684) tarafından gerçekleştirildiğini söylemek mümkündür. Mariotte, Galilei'nin eğilen kiriş üzerindeki yaklaşımlarını ileriye götürmüştür. 17. yüzyıl sonlarında ve 18. yüzyılda, gelişen matematik bilimi neticesinde mukavemet bilimi için analitik çalışmaların da hız kazanmış olduğu görülmektedir. Örneğin, 1696 yılında İsviçreli John Bernoulli (1667-1748) şekil değiştirme bağıntıları önermiş, kendisinin öğrencisi İsviçreli Leonard Euler (1707-1783) birim deformasyona bağlı enerji terminolojisini kazandırmış ve elastik olarak şekil değiştiren kirişlerin deformasyon enerjileri için analitik yaklaşımlar geliştirmiştir.

1775 yılına gelindiğinde Fransız Francois Buffon tarafından deneysel yük deformasyon eğrileri oluşturulmuştur. Böylelikle, malzemelerin deformasyon modüllerinin tayini ve birçok önemli özelliğinin keşfedilmesi için büyük bir adım atılmıştır. Bu ilerlemenin altında yatan nedenlerin başında şüphesiz 18. yüzyılda test cihazlarında önemli ilerlemelerin kaydedilmesi vardır. Malzemelerin mekanik özelliklerinin doğru belirlenmesi ve test metotlarındaki ilerlemeler ile malzemelerin mekanik davranışlarının daha iyi anlaşılmasına ve yeni buluşlara olanak sağlayan pek çok önemli gözlem yapılabilmektedir. Örnek olarak, 18. yüzyıl ortalarında Hollandalı bilim adamı Petrus van Musschenbroek tarafından geliştirilen oldukça kullanışlı bir doğrudan çekme dayanımı testi düzeneği mevcuttur. Bu düzende temel yükleme prensibi, yük kolundaki ağırlığın yerini değiştirerek numunenin yüklenmesidir.

18. yüzyılda deney olanaklarının gelişmesi ile pek çok farklı teori ve malzeme özelliği incelenebilmiştir. Ancak, Elastisite Modülü gibi temel bir parametrenin bulunuşu için 19. yüzyılın beklenmesi gerekmiştir. İngiliz Fizikçi Thomas Young (1779-1829) tarafından çekme dayanımı testine tabi tutulan metal plakaların deformasyon ve yük ölçümleri neticesinde 1807 yılında ilk kez Elastisite modülü tanımı yapılmıştır. Thomas Young tarafından Elastisite Modülü (Young Modülü) “E” ile simgelenmiştir. Thomas Young aynı zamanda çekme gerilmelerine maruz kalan malzemelerde yatay olarak kısalma olduğunu gözlemlediğini belirterek ilerleyen süreçte, 1829 yılında Fransız fizikçi Denis Poisson (1781-1840) tarafından tanımlanacak Poisson oranı için de önemli bir ipucu vermiştir. Denis Poisson başta bu oranı tüm malzemeler için 0,25 olarak önermiştir, ancak Franz Ernst Neumann (1798-1895) Poisson oranının tıpkı Young Modülü gibi malzemelerin kendine has özelliklerinden olduğunu ve malzeme türüne bağlı değişken olduğunu belirtmiştir. Malzeme özelliklerinin hızlı bir şekilde keşfedildiği 18. yüzyılın ikinci çeyreğinde sünme (creep), yorulma (fatigue) gibi kavramlar da bilinmekteydi. Yorulma terminolojisi ile ilk kez karşılaşılın tarih 1836 yılı olarak bilinmektedir. Yorulma testi üzerine ilk makalenin ise 1837 yılında yük taşıyan halatlar üzerine yazıldığı ve 19. yüzyılın ilk yarısında demir yollarında kullanılan raylara uygulanan yorulma testleri ile ilgili makalelerin de yayınlandığı bilinmektedir.

Özellikle, sanayi devrimi neticesinde gelişen ulaşım ağları, yapılaşma ve malzeme teminine olan ihtiyacın artması neticesinde gelişen

madencilik faaliyetleri kaya mekaniğinin akademide kuruluşu için önemli alt yapı sağlamış ve bilim insanlarını kaya mekaniği çalışmaya yönlendirmiştir. Akademideki önemli gelişmeler sağlayan sanayi devrimini tetikleyen belki de en önemli buluşun James Watt'ın (1736-1819) buhar makinesi olduğu söylenebilir.

İnsanların buhar gücü kullanarak fabrikalardaki üretim kapasitelerini artırmaları, yeni pazarlara mal arz edebilmelerini sağlamıştır. Buhar gücünün pratikte insan ve hayvan gücünü alt etmesi ile lokomotiflerin demir tekerleklerinin, gemilerin devasa pervanelerinin döndürülüp mesafelerin kısaltılması başarılmıştır. Böylelikle, ticaret ağları geliştirilmiş ve kaya mühendisliğinin ekonomiye olan katkısı için ihtiyaç artmıştır. Yeni uygulama alanları, sanayi devrimi ile artan tünel sayısı zemin reaksiyonlarının daha iyi anlaşılmasını beraberinde getirmiştir. 19. yüzyılın ikinci çeyreğinin, sayıları hızla artan demiryolu çalışmaları ile tünelciliğin ilerleyişi açısından en önemli dönemlerden olduğu söylenebilir. Tünelcilğe yönelik pek çok tanım bu yıllarda ortaya çıkmış, hatta tünel ismi dahi ilk kez 19. yüzyılın ikinci çeyreğinde İngiltere'deki bir demir yolu tüneli inşaatında kullanılmıştır. Tünel kelimesi fransızca çardak anlamına gelen "tonnelle" kelimesinden türetilerek ingilizceye "tunnel" şeklinde girmiştir.

Demir yolu ilk kez madenlerde yük taşımak için 1738 yılı kullanılmaya başlanmış olup, 1802 yılında İngiliz mühendis Richard Trevithick (1771-1833) ilk kez buharlı lokomotifini bulmuş ve sanayi devrimi ile radikal bir şekilde ilerleme kaydedilerek şehirlerarası

hammadde ve üretilen malların taşımıcılığı için demiryolları inşa edilmiştir. Demir yolu ile yük taşımıcılığının ekonomik olması için Trevithick'in buluşundan sonra yaklaşık 30 yıl süren çalışmalara ihtiyaç olmuştur. 1829 yılında George Stephenson'un (1781-1848) 22 km/saat hızla 10 ton yük taşıyabilen buharlı lokomotifi yük taşımıcılığında ekonomik olarak demir yollarının kullanımı konusunda milat olarak kabul edilmektedir. Demir yollarının yolcu taşımıcılığı için ilk kullanımı ise 1830 yılında buharlı lokomotifler ile Manchester-Liverpool şehirleri arasında gerçekleşmiştir. Buhar gücü insanoğlunun menzilini artırmış ve 1850'lerde İngiltere'deki toplam demir yolu uzunluğu 10000 kilometreyi bulmuştur.

Demir yolları kullanılmadan önce, 15. yüzyıldan itibaren ahşap malzemeden elde edilen raylar madenlerde olduğu gibi kısa mesafe yük taşıma amaçlı kullanılmaktaydı, demirin ekonomik olarak kullanılmaya başlaması yukarıda anlatılan örneklerden de anlaşılacağı gibi sanayi devrimini tetikleyen diğer bir önemli buluş olmuştur. Çeliğın eşya ve silah malzemesi olarak kullanımının yanı sıra, yük taşımak amaçlı inşaat ve madenlere girmesi kaya mühendisliğinde yeni ufuklar açmıştır. Henüz çelik tahkimatın yaygınlaşmadığı dönemlerde, günümüzde kazı yapılabilen pek çok zemin şartlarında kazı yapılamamaktaydı. Günümüzde rahatlıkla duraylılığın sağlanabildiği zeminler, çelik tahkimatın kullanılmaya başlamadığı yüzyıllarda ekonomik kazı yapılabilen yerler değildiler. Çelik bağların kullanımı ile daha bozuk zemin şartlarında kazı yapılması mümkün kılınmıştır. Çeliğın tahkimat amaçlı kaya mühendisliğinde ilk

kullanımı 1795 yılında İngiltere’de bir kömür madeninde şaft içi kaplama malzemesi olarak gerçekleşmiştir. Bir sonraki yüzyılda şaft uygulamalarına ek olarak, tünel içinde de çelik kaplama ve çelik bağ kullanılmaya başlamıştır. Tahkimat malzemelerindeki gelişimin etkisi olarak daha bozuk kaya kütleleri içerisinde, daha büyük ölçekli yapılar inşa edilebilmiş ve böylelikle yeni mühendislik problemleri ile karşılaşmıştır. Tahkimat uygulamalarının yanı sıra, delici/kazıcı ekipman ve makinalarının geliştirilmesi de kaya mühendisliğinin ekonomiye katkısı ve refah seviyesini artırması için jeomekaniğe akademide duyulan ilgiyi iyiden iyiye artmıştır.

Ulaşım için tünellerin, şevlerin kazılması ve duraylılığın sağlanması konularının yanı sıra, şehirlerdeki nüfus artışı nedeni ile yapıların büyümesi ve derinleşen temel kazıları kaya mühendisliğine yeni ufuklar kazandırmıştır. Ayrıca, sanayi devrimi ile madenlere olan ihtiyacın artması ve ilerleyen süreçte, 1864 yılında A.B.D’de petrol kuyularının kazılmaya başlaması kaya mühendisliğinin akademide kuruluşu için kilometre taşlarından olmuştur.

Temel kazılarının, şev kazılarının, tünellerin, madenlerin sayılarının artması, petrol üretiminin başlaması 19. yüzyılda kaya kütlesi davranışlarının detaylı olarak incelenmesini ve yer mühendisliği uygulamalarındaki bilimsel yaklaşımın kazanılmasını sağlamıştır. 19. yüzyıl, pek çok yeni rezerv tespiti nedeniyle, Avrupa devletlerinin sömürgelerinde gerçekleştirilen madencilik faaliyetleri açısından da önemli bir yüzyıl olmuştur.

19. yüzyılda mukavemet bilimindeki önemli atılımlardan söz edilirken, mutlaka bahsedilmesi gerekmekte olan önemli bir gelişme malzemeler için yenilme ölçütü önerilmesidir. Günümüzde de yaygın kullanılmakta olan Mohr-Coulomb yenilme ölçütünün Alman inşaat mühendisi Christian Otto Mohr (1835-1918) tarafından önerilmesi, ilerleyen yüzyılda yer malzemeleri için önerilecek yeni yenilme ölçütleri için temel oluşturmuştur.

Jeomekaniğin akademide bağımsız bir bilim olarak çalışıldığı, ancak henüz “Kaya mekaniği” isminin kullanılmamış olduğu 19. yüzyıldan itibaren kaya kütlelerinin sınıflandırılmasına yönelik çalışmalar yürütülmüştür. 20. yüzyıl ortalarında jeomekaniğin pekçok önemli temel bilgileri öğrenilmiştir.

Kaya Mekaniğinin bir parçasını oluşturduğu genel yer malzemeleri (zemin ve kaya) mekaniği ile ilgilenen Jeomekanikten ayrı bir bilim dalı olarak incelenmesi 20. yüzyılda gerçekleşmiştir. Bu sürecin önemli adımları 20. yüzyılın ilk yarısında atılmıştır ve Dünya genelinde kaya mekaniğinin gelişimi neticesinde 1960’lı yıllarda ilk kez “Kaya Mekaniği Mühendisliği” ünvanı kullanılmaya başlanmıştır. Profesör Leopold Müller tarafından 1962 yılında Uluslararası Kaya Mekaniği Derneğinin kurulması kaya mekaniğinde günümüzdeki sahip olunan bilgi birikimi üzerinde önemli katkılar sağlamıştır. Karl von Terzaghi döneminde kaya mekaniği henüz ayrı bir bilim dalı olarak ele alınmıyor olsa da, kendisi bu konudaki gereksinimi dile getirmiş ve kaya mekaniği mühendisliği problemlerinin çözümüne yönelik önemli yaklaşımlar sunmuştur.

Günümüzde kaya mekaniği birçok mühendislik disiplini eğitimde temel ders olarak Dünya üzerinde her yıl yüz binlerce insan tarafından eğitimi alınan, her yıl binlerce bilimsel eserin yayınlandığı ve her geçen gün daha çok derinlik kazanan bir bilim dalı olmuştur. Kaya mekaniği literatürüne ait ilk dergi olan ve günümüzde “Rock Mechanics and Rock Engineering” ismi ile yayınlanmakta olan derginin öncüsü “Geologie und Bauwesen”ın kurucusu Profesör Josef Stini (1880-1958), kaya mekaniğinin akademide kuruluşu konusunda ismi kesinlikle anılması gereken bir akademisyendir. Profesör Josef Stini’nin kurmuş olduğu dergi, sonraki yıllarda akademide kalabalıklaşacak olan kaya mekaniği camiasının, yeni dergilerin, Uluslararası Kaya Mekaniği Derneğinin kuruluşunun ve günümüzde yaygın mevcut olan kaya mekaniği üzerine bilimsel etkinliklerin müjdecisi niteliğindedir.

Stini’nin 1958 yılında vefatı ile kurmuş olduğu derginin editörlüğü Profesör Leopold Müller tarafından devam ettirilmiştir. 1951 yılında, Profesör Müller’in Avusturya’nın Salzburg şehrindeki evinde 16 kişilik toplantı neticesinde yeni bir jeomekanik çalışma grubu kurulmuştur. Çoğunluğu Avusturya’lı bilim insanlarından oluşan bu topluluğa 1958 yılında Profesör Müller’in Amerika Birleşik Devletleri’nden Profesör Charles Fairhurst’ı davet etmesi ile başlayan farklı ülkelerden gelen katılımlar neticesinde 1962 yılında Uluslararası Kaya Mekaniği Derneği resmi olarak kurulmuştur. Derneğin çalışmaları neticesinde ilk ISRM kongresi 1966 yılında 40 ülkeden 814 delege ile Portekiz’in Lizbon şehrinde



gerçekleştirilmiştir. Bu etkinlik o tarihe kadar düzenlenen en büyük kaya mekaniği etkinliği olmuş olup, 1950’li yıllardan beri Avusturya, ABD, Kanada ve Fransa’da çeşitli konferanslar/etkinlikler gerçekleşmiştir. İlk kaya mekaniği kitabı ise 1957 yılında “La Mécanique des Roches” adı ile Talobre tarafından yazılarak Paris’te basılmıştır.

Uluslararası Kaya Mekanikçi Derneği’nin kurulmuş olduğu 1962 yılına kadar Kaya Mekanikçi’nin akademide doğmuş olduğu görülmektedir. Literatürde ilk “Kaya Mekanikçi” isminin kullanımı Güney Afrika’da yayınlanan bir makale içerisinde 1944 yılında gerçekleşmiştir. Stini tarafından 1929 yılında kurulan dergi kaya mekaniğinin Jeomekanik bilim dalı içerisinde ayrılarak yeni bir bilim dalı şeklinde akademide kuruluşu için çok önemli bir birikim sağlamıştır. İlk etapta mühendislik jeolojisi alanında genel jeomekanik yayınlarının yapıldığı dergi zaman içerisinde yalnızca kaya mekaniği ve mühendisliği alanında araştırmalar yayınlamıştır. “Başka bir major yayın organı “International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences” dergisi ise 1963 yılında Albert Robert tarafından İngiltere’de kurulmuştur.

Uluslararası Kaya Mekanikçi Derneği’nin kurulduğu 1962 yılına kadar pek çok temel kaya mekaniği bilgisine ulaşılmış olduğunu söylemek mümkündür. Müller’e göre, Albert Heim tarafından 1905 yılında kaya kütlesi ve kaya malzemesi ayrımı yapılmıştır. Stereonet kullanımı ilk kez 1925 yılında Schmidt tarafından gerçekleştirilmiştir. Kaya kütlesi eklem sistemleri özelliklerine yönelik 1920’li yıllarda Stini tarafından

önemli çalışma sonuçları paylaşılmıştır. 1960'lı yıllara kadar laboratuvar ve arazi ölçekli pek çok deney gerçekleştirilmiştir. Zemin-tahkimat etkileşim konseptleri 1960'lı yıllarda tanımlanmıştır. Ayrıca, şev duraylılığına yönelik blokların limit denge yaklaşımları da 1960'lı yıllarda kullanılmaktaydı.

1960'lı yıllarda kaya kütlelerinin mühendislik özelliklerine yönelik incelemeler dünya genelinde yaygınlaşmıştır. Kaya malzemelerine uygulanan dayanım testleri tarihçesi oldukça eskiye dayanmakta olup, 1950'li yıllarda arazi ölçekli dayanım testlerinin de uygulanmakta olduğu bilinmektedir. Dünyada artan enerji ihtiyacına yönelik olarak bu yıllarda baraj inşaatlarındaki çalışmalar kaya mühendisliğinin gelişmesine önemli katkı sağlamış ve 1960'larda gerilme ölçümü ve dayanım değerlerine yönelik birçok standart arazi testi barajlarda geliştirilmiştir. Yerkabuğundaki gerilmelerin ölçülmesine yönelik çalışmalar da 1960'lı yıllarda mevcuttur.

Derinleşen kazılar, ölçekleri büyüyen kaya mühendisliği yapılarında yapısal ve gerilme kontrollü göçükler, kaya patlama olgusu ile ilk kez 1953 yılında karşılaşılmış olması, birçok önemli barajda binlerce kişinin hayatına son veren ölümcül duraysızlıkların yaşanması gibi karşılaşılan çok sayıda problem 1960'lı yıllarda kaya mekaniği araştırmalarının derinleşmesini gerektirmiştir.

Özet ile, 1960'lı yıllarda kaya mekaniği hızla gelişmekte olan bir çocuk gibi büyümüş ve çok sayıda araştırmacı tarafından verilen katkılar ile gelişimi devam etmiştir. 1960'lı yıllar kaya mekaniği

derslerinin Amerika ve Avrupa üniversitelerinde başladığı dönem olmuştur. Önceki dönemlerde “Mühendislik jeolojisi”, “Jeomekanik” gibi genel yer malzemelerine yönelik dersler içerisinde temel kaya mekaniği bilgileri anlatılmıştır. Jeomekanikten ayrı, bağımsız dersler halinde kaya mekaniği ilk olarak lisansüstü dersi olarak işlenmiştir. Amerika’da aktif araştırmalarda bulunan bir grubun bulunduğu Minnesota Üniversitesinde, Charles Fairhurst tarafından 1950’lerin sonlarından itibaren Kaya mekaniği dersleri başlatılmış olup, günümüzde kaya mekaniğinin duayenlerinden birçok önemli isim de Minnesota Üniversitesindeki bu derslere ve ayrıca düzenlenen yaz kurslarına katılmıştır.

Diğer bilim dalları gibi kaya mekaniğinin akademide doğuşu için gerekli olan bilgi birikiminin sağlanması uzun yıllar almıştır. Bu geçen uzun süreçte, pozitif bilimin felsefeden ayrılması, Avrupa’da yaşanan aydınlanma hareketi ile birlikte gelen bilimsel devrim ve modern bilimin doğuşu gibi sancılı süreçler neticesinde kaya mekaniğinin temelleri atılmıştır. 17. yüzyıldan itibaren mekanik bilimindeki yaşanan ilerlemeler ve 19. yüzyılda artan kaya mühendisliği uygulama alanlarının sayısı nedeni ile yaşanan akademideki yeni yönelimler neticesinde 20.yüzyıla gelindiğinde kaya kütle ve malzemelerinin mühendislik özellikleri detaylı olarak araştırılmaya başlanmıştır. 1950’li yıllarda kaya mekaniğinin akademide bağımsız bir bilim dalı olarak kurulmuş olduğu görülmektedir. 1960’lı yıllara gelindiğinde ise kaya mekaniği tüm dünya genelince tanınmış bir bilim dalı olarak bilim tarihine girmiştir. Günümüzde diğer bilim dalları ve gelişen

teknoloji ile etkileşim içerisinde bulunarak detaylandırılan, her yıl binlerce bilimsel yayının üretildiği kaya mekaniğinin yakın süreçte kendi içinde ayrılarak yeni bilim dallarının doğacağı öngörülmektedir.

Not: “Kaya mekaniğinin akademide kuruluşu” isimli 3. başlık (sayfa 50-73) altındaki yazı bu kitabın da yayıncısı olan Mayeb Basın Yayın İnsan Kaynakları Ltd. Şti.’nin Madencilik Türkiye dergisinde (59. Sayı, 2016) yazar tarafından yayınlanmıştır.

#### **4. Tünelcilik ve Tahkimat Malzemelerinin Kısa Tarihiçesi**

Tarih boyunca tahkimat malzemeleri tünelciliğin yönelimlerini etkilemiş ve yönelimler doğrultusunda geliştirilmiştir. Beton ve çeliğin tünelciliğe girişi, zaman içerisinde amaca bağlı olarak yeni katkı malzemeleri ve üretim yöntemleri ile gelişimi sonucu, kaya mühendisliği uzun yıllardır kazı yapılması zor alanlara yönlenebilmiştir. Yeni tahkimat malzemeleri yeni tahkimat anlayışlarının oluşmasına olanak sağlamıştır. Gelişen malzeme bilimi neticesinde üretilen yeni mühendislik polimerlerinin var olan tahkimat malzemelerinin alternatifini olarak veya birlikte kullanımı yoluyla günümüz tünellerine girdiği görülmekte ve gelecek uygulamalarda kullanımının yaygınlaşacağı öngörülmektedir. Günümüzde artmakta olan yeraltı alanlarının kullanımına yönelik yeni ihtiyaçlara cevap verilmesi adına gelişen malzeme bilimi yakından takip edilmelidir. Bu başlıkta, tahkimat malzemesi seçiminin tünelciliğin tarihsel gelişimi üzerindeki rolü ve önemine değinilmek amacıyla eski çağ tünellerinden günümüz tünellerine kadar olanların bazı önemli örneklerinden kısaca bahsedilecektir.

İnsanların henüz metal eşyalar ile tanışmadığı eski çağlarda kemik, boynuz, taş, ahşap gibi malzemeler ile kazı yaptıklarına dair bulgular mevcuttur. Metallerin kullanılmaya başlaması ile kazı alanında önemli gelişmeler kaydedilmiştir. Metal alaşımların tarih boyunca gelişmesi neticesinde daha sert kayaçlarda kazı yapılmasına olanak sağlanmıştır. Aztek, İnka, Babil, Mısır, Roma, Pers gibi tarihteki önemli uygarlıkların tüneller kazdıkları bilinmektedir. Tarihte bilinen ilk

tünel, aç kapa yöntemi ile kazılmış olan ve M.Ö. 2200'lü yılında üretimi tamamlandığı düşünülen Babil uygarlığına ait saray ve tapınağı birbirine bağlayan bir tüneldir. İnsanoğlunun maden kazılarının geçmişi ise bu tarihten binlerce yıl öncesine dayanmaktadır.

Mısırlıların ve Romalıların madencilik faaliyetleri için yaklaşık 200 metre derinliklere kadar yeraltı kazıları gerçekleştirdiği görülmüştür. M.Ö. 6. yüzyıla ait veriler sert kayalarda da kazılar yapıldığı ancak ilerleme hızlarının yılda 9 – 10 metre gibi çok düşük seviyelerde olduğuna yöneliktir. Sonraları, Roma tünellerindeki kazı hızının ne denli arttığını, antik çağların en büyük tüneli olarak bilinen Pausilippo tüneli göstermektedir. M.Ö. 36 yılında kazısı biten tünel 1,4 km uzunluğundaydı. Bu tünelin kazısında yüzlerce işçinin çalıştığı ve kazının 11 yıl sürdüğü söylenmektedir. Tünel, Fucine gölü suyunun drenajı için kazılmıştır. Roma imparatorluğu, tünel kazılarında esirlerini çalıştırmış ve bu sayede büyük iş gücüne sahip olmuştur.

Eski çağlarda yapılan kazılarda ateşin kullanıldığına yönelik bulgular mevcuttur. Bulgulara göre, ayna önünde ateş yakılarak kayanın ısınması ve ardından ateşin suyla söndürülmesi neticesinde oluşan sıcaklık değişimi ile kayaların kırılması, çatlatılması ve kazılabilirlik direncinin azaltılması sağlanmaktaydı.

Geçmişte tünellerin su sağlamak, kanalizasyon, drenaj, askeri, malzeme depolama, ulaşım, tapınma gibi amaçlar için kazılmış olmalarının yanı sıra saklanmak, korunmak için de yeraltı kazıları

yapılmıştır. Anadolu'da Hristiyanların Roma imparatorluğu askerlerinden saklanmak için barındıkları Derinkuyu yeraltı şehri bu konuda dünyaca yaygın bilinen bir örnektir.

Su taşımak amaçlı gerçekleştirilen tünel kazılarının Mısır uygarlığında birçok örneği mevcuttur. Bunların en eskisi M.Ö. 10. yüzyıla dayanmaktadır. Tarihte su taşıma amaçlı gerçekleştiren kazıların en çok bilinenlerinden biri ise Samos adasında M.Ö. 530 yılında üretimi tamamlanan 1 km uzunluğundaki tüneldir. Tarihte mühendis ünvanı ile anılan bir kişi tarafından üretilen ilk tünel özelliğini göstermekte olan ve helenistik dünyanın 3 harikasından biri arasında gösterilen bu tünel mühendis Eupalinos öncülüğünde kazılmıştır.

Tarihsel ilerleyişte insanların yeni metalleri işlemeleri, yeni alaşımlar geliştirmeleri ile kaya kazma ve kesme işlemlerinde önemli devrimler yaşanmıştır. Şu ana kadar bahsedilen tarihlere nazaran günümüze yakın olan 1922 yılında ilk kez üretilen tungsten karpit alaşımı yüzey sertliği nedeni ile kaya mühendisliğinde önemli bir kilometre taşıdır. Ardından, 1955 yılında ilk kez üretilen sentetik elmasın 1970'li yıllarda kaya mühendisliğine girmesi ile kazı verimi ve aşınma direnci artırılarak daha büyük uygulamaların gerçekleştirilmesine olanak sağlanmıştır.

Tam cepheli tünel açma makinesi (TBM) ilk kez 1856 yılında üretilmiş, ancak aşınma problemi nedeni ile sadece 3 metre kazı yapabildiği belirtilmiştir. 50 yıl ardından aşınma direnci daha yüksek olan bir malzeme ile bir TBM daha üretilmiştir. Bu makine, sert

kayalarda verimli olamamış, yumuşak zeminler ve kömür damarlarında kazı yapmıştır. Ancak, kullanımı ekonomik olmamıştır. Yeni nesil makineler ile ekonomik olarak kazıların yapılması gelişen malzeme bilimi sayesinde gerçekleşmiştir. Aşınma direnci yüksek olan yeni malzeme seçimleri ile gelişmekte olan mekanik kazının yanı sıra patlayıcı malzemelerin kullanımı da kaya mühendisliği adına önemli bir devrim olmuştur. Geçmişten günümüze yaygın uygulama alanlarına sahip olan patlatmalı tünel kazısı yöntemi İlk kez 17. yüzyılda Fransa'nın güneyinde yer alan 156 metre uzunluğundaki Malpas tüneli inşasında uygulanmıştır. Kaya Mühendisliği uygulamalarında geçmişten günümüze yeni malzeme seçimleri ile devrim yaşanmış olduğu ve gelecekteki yönelimlerin de büyük ölçüde yeni malzemelerin uygulama alanlarına girmesi ile yaşanacağı düşüncesi ile hazırlanan bu başlıkta, ağırlıklı olarak tahkimat malzemeleri üzerine tarihsel süreçteki yaşanan yenilikler ve etkilerine yer verilmiştir. Çeşitli tünel tahkimat elemanlarına alt başlıkları altında değinilecektir.

Öncelikle, günümüzde tahkimat malzemesi olarak yaygın kullanılmakta olan metal malzemelerin silah, çeşitli eşyaların yapımı ve kazı dışında mühendislik malzemesi olarak kullanımı adına yaşanan yeniliklerden kısaca bahsederek tünel tahkimatı elemanları hakkında detayların verilmesi doğru olacaktır. Metaller altı bin yılı aşkın süredir insanlar tarafından kullanılıyor olsa da silah ve eşya dışında yapı malzemesi olarak kullanımı ilk kez 1778 yılında Coalbrookdale köprüsünün inşasıyla gerçekleşmiştir. Daha önceleri



de yapı malzemesi olarak kullanımının düşünüldüğü tahmin edilen demirin, Abraham Darby'nin taş kömürden kok kömürünü üretmesi ile ekonomik olarak kullanımı mümkün olmuştur. Henry Cort'un 1784 yılında pudralama yöntemini geliştirmesi ile yapı sektörü için daha sağlam çelik üretimine olanak sağlanmıştır.

19. yüzyılın ilk yarısında hızla gelişen çelik teknolojisi çelik yapıların yönelimlerini belirledi. 1930 yılına kadar Dünya'nın en yüksek yapısı olan 320 metre yüksekliğindeki çelik Eiffel kulesi 1887-1889 yıllarında inşa edildi. Tarihteki ilk çelik askılı köprü olan Amerika Birleşik Devletleri'ndeki Brooklyn köprüsünün yapımı John Roebling tarafından 1855 yılında önerilmiştir. Yükün kalın çelik halatlarla taşınacağı bu ilk uygulamanın gerçekleştirilmesi için kabul alması kolay olmamıştır.

Yüksek gökdelen inşaatlarının yapılması da çelik teknolojisinin gelişmesi ve çelik konstrüksiyon uygulanması ile gerçekleşmiştir. Mimar William Le Baron Jenney tarafından dizayn edilen ve Chicago'da bulunan Dünya'nın ilk gökdeleninde yük, duvarlar yerine çelik yapı tarafından taşınmaktaydı. Çelik konstrüksiyon uygulaması ile 1890 yılında tamamlanan bu ilk gökdelen, günümüzde 1 kilometre yüksekliğe yaklaşan yapılara öncülük etmiştir.

Antik dönemlerden son yüzyıtmış yıla kadar olan süreçte major olarak kullanılan ahşap tahkimat malzemelerinin ardından çeliğin de tünel tahkimat malzemesi olarak kullanılmaya başlaması, kaya mühendisliği alanında önemli devrimlere yol açmıştır. Yeni

Avusturya tünel açma metodunun bulunmasında önemli role sahip, geleneksel tahkimat anlayışından çıkılıp çağdaş tahkimat anlayışının oluşmasına olanak sağlayan, tahkimat tasarımı alanında önemli yeniliklere sebep olan kaya saplamalarının bulunuşu ve tarihsel gelişimine sıradaki altbaşlıkta değinilecektir.

### *Kaya Saplamaları*

İlk kaya saplamalarına yönelik patent 1918 yılında Stephan, Fröhlich ve Klüpfel tarafından alınmıştır. Stephan ve arkadaşlarının bu patent için 1913 yılında başvurdukları bilinmektedir. Patent başvurusunun sonuçlanması için sürenin uzun olmasında 1.Dünya Savaşının yaşanıyor olmasının etken olduğu söylenmektedir. Stephan ve arkadaşları bu yeni uygulamayı yeraltında kaya içinde konumu farklı ve farklı deformasyona uğrayan noktaları birbirine bağlamak amaçlı kullandıklarını, bunun gerçekleşmesi için önce yeteri uzunlukta delik delinip sonra çelik ribarların deliğe montajı yapıldığını ve ribar ile zemin arasında aderansın sağlanması için delik içerisini çimentoladıklarını söylemektedirler. Patent başvurusu üzerinden 110 yıl geçen bu uygulama, günümüzde uygulanan tipik bir ribar tanımına paraleldir. Alman literatüründe, kaya saplamalarından bahsedilen, 1919 yılında yayımlanan bir çalışmada Königshütte kömür madeninde kaya saplamalarının kullanıldığı yazılmaktadır.

Püskürtme betonun henüz kullanılmadığı, eski uygulamalarda kaya saplamaları arasında bağlantı kuran uzun plakaların yaygın olarak

kullanıldığı görülmektedir. Bu uygulama kaya saplamalarının birbirine yük aktarmasına olanak sağlamaktadır.

Kaya saplamaları, 1920'li yıllarda yaygınlaşmamış, 1930'lu, 40'lı ve 50'li yıllarda hızla yeni uygulamalarda kendine yer bulmaya başlamış, 1960'lı yıllarda ise popüler bir tahkimat elemanı haline gelmiştir. Aşağıda kaya saplama uygulamalarının tarihsel gelişimi adına bazı önemli örnekler sıralanmıştır:

- Amerika Birleşik Devletleri'nde 250 metre uzunluğundaki, Keyhole barajına ait tünelde 1930 yılında kullanılmıştır.
- Kanada'da bulunan Melntyre altın madeninde 1934 yılından itibaren kullanılmıştır.
- 1942 ve 1943 yılında İngiltere'de gerçekleştirilen ve Britanya için ilk kez kaya saplaması kullanılan kazılar yapılmıştır.
- 1948 ile 1950 yılları arasında Amerika Birleşik Devletleri'nin kömür madenlerinde toplam 1400 km uzunluğundaki kazılarda kaya saplamaları kullanılmıştır.
- 1950 yılında İngiltere'de Manchester yakınlarında kazılan bir su tüneline kaya saplamaları kullanılmıştır.
- 1950'li yıllarda Kanada'da, Norveç'te, İsveç'te, Fransa'da birçok baraj tünellerinde kaya saplamaları kullanılmıştır.
- 1956 yılında Venezüella'da kaya saplamaları püskürtme beton ile birlikte sistematik olarak uygulanmıştır.

- 1958 – 1962 yıllarında, Fransa ve İtalya arasında 11,6 km uzunluğundaki otoyol tüneli inşasında kaya saplamaları kullanılmıştır.

1960'lı yılların devamında, kaya saplamalarının tahkimat prensiplerine yönelik genel detaylar anlaşılmiş ve birçok standartlaştırma yapılmıştır.

Yeraltı suyu tahkimat verimi üzerinde önemli olumsuz etkilere sahiptir. Kaya saplamalarının paslanma ve zamana bağlı olarak taşıma kapasitelerinin azalması nedeni ile çelik yerine alternatif, korozyon problemi olmayan malzeme arayışlarına gidilmiştir. Kaya saplamalarının zamanla paslanmasını önlemek adına, lifli polimer (FRP) komposit malzemeler kaya mühendisliği uygulamalarına girmiştir. FRP komposit kaya saplaması ilk kez 1985 yılında İsviçre'li Weidmann tarafından uygulanmıştır. Çeliğe nazaran daha yüksek dayanıma sahip, paslanma problemi olmayan, hafif, kolay uygulanabilir, yüksek çekme ve tork testi sonuçları veren bu ürünler fiyatları dolayısı ile henüz çelik kadar yaygın kullanılmamaktadırlar.

Lif ve polimer matriks malzemeleri, karışım oranları, ekstra katkıları, üretim şekilleri gibi etkenlere bağlı olarak geniş aralıkta değişebilen mekanik parametre değerlerine sahip kompozit malzemeler üretilebilmektedir. Çeşitli üreticilerin teknik verilerine dayanarak kaya saplaması malzemesi olarak kullanılmakta olan CFRP için tipik çekme dayanımı değerinin 1,5 GPa dolaylarında olduğu, cam lifli polimerler (GFRP) için ise bu değer 800 MPa dolaylarında olduğu söylenebilir. Bu değerler çoğu çelik malzemesinin çekme dayanımının

çok üstünde değerlerdir. Çelik belli bir gerilmeden itibaren akma göstermekte olup, 300 MPa dolaylarında akmaya başlayan malzemeler uygulamalarda yaygın kullanılmaktadır. CFRP ve GFRP malzemeleri için akma ve tamamen yenilme gerilmeleri arasındaki fark görece düşüktür.

Kaya saptaması malzemesinin montajının yapıldığı delik ve enjeksiyon malzemesi ile etkileşimi de taşıma kapasitesi ve gerekli tahkimat basıncının sağlanacağı deformasyon miktarını etkiler. Kaya saptaması olarak kullanılan lifli polimer malzemelerde epoksi, poliester ve vinilester türü polimerlerin daha çok kullanıldığı görülmektedir. CFRP ve GFRP, genelde enjeksiyon malzemesi olarak kullanılmakta olan çimento su karışım harcı ile oldukça yüksek aderans sağlayabilmektedir. Paslanma problemi olmamasına ve yüksek taşıma kapasitesine sahip olmasına rağmen, fiyatı nedeni ile polimer kompozit kaya saptamaları için sistematik uygulamaya yaygın olarak gidilmemiş ve genelde çelik saptama kullanımına devam edilmiştir.

Yeraltı sularının kaya saptamalarında çok hızlı korozyona neden olduğu madenlerde korozyonu ekonomik bir şekilde önlemek ve pahalı kaya saptamaları malzemeleri kullanmamak adına yeni bir uygulama olarak çelik saptamaların üzeri sıvı halde püskürtülebilen polimer türü malzemelerle kaplanabilmektedir. Tercih edilen kaplama malzemesinin çimento enjeksiyonuna iyi yapışma sağlayabilecek bir malzeme olmasına dikkat edilmelidir.

Öngermeli, sürtünmeli, enjeksiyon dolgulu veya doğrudan zemine temas eden birçok saplama türü geliştirilmiştir. Dalgulu uygulamalarda kaya saplama malzemelerinin yanı sıra enjeksiyon dolgu malzemeleri de tahkimat performansı ve reaksiyonları üzerinde anlamlı ölçüde etkiye sahiptir. Günümüzde sulu zemine iyi yapışabilen, polimerleşme tepkimeleri sulu ortamda hızla gerçekleşebilen ve kimyasal katkıları ile rijitliği değiştirilebilen termoset polimer bazlı reçine dolgu malzemeleri üretilmektedir. Patlatmadan kaynaklı aynaya yakın yeni uygulanmış kaya saplamalarının gevşemesi konusunda olduğu gibi delik yüzeyinden aktarılan dinamik yüklere karşı enerji absorpsiyonu yüksek olan ve hızla dayanım kazanan bu tip malzemeler avantaj sağlamaktadır. Bu konuda, hızla yüksek taşıma kapasitesi sağlayan reçine dolgularının geleneksel çimento dolgusuna nazaran önemli avantajları vardır. 1956 yılında kaya saplama uygulamaları için İlk reçine dolgunun geliştirildiği ve ilk kartuşlu reçine dolgu uygulamasının da 1959 yılında Almanya'da gerçekleştirildiği bilinmektedir. İlerleyen süreç içerisinde reçine dolgu malzemeleri de gelişim göstermiştir. Tipik bir reçine dolgu uygulamasında iki birleşen kartuşlar halinde deliğe ittirilip delik içinde kartuşların delinerek birleşenlerin karışması sağlanır.

*Kaya Saplamaalarının Tarihsel Gelişiminde Çeşitli Önemli Buluşlar*

a) Portland çimentosu: Enjeksiyon niteliği kaya saplamaalarının taşıma kapasitesi ve veriminde önemli konulardan bir tanesidir. Bütün dünyada en çok kullanılan çimento ürünü olan Portland çimentosunun bulunmuş ve zamanla geliştirilmiş olması daha kaliteli bir enjeksiyona sahip olmak maksadıyla önemli gelişmedir. Portland çimentosu 1824 yılında Joseph Aspdin adında Britanyalı bir kimyager tarafından icat oldu. Portland çimentosu İngiltere’ ki Portland adasının kalkerine benzer olduğu için Portland çimentosu olarak isimlendirilir.

b) Kaya Saplamaaları ile Püskürtme Beton Kullanımı: Çağdaş tahkimat elemanlarının başarısı açısından, püskürtme betonla birlikte kaya saplamaaları kullanımı iki tarafın da performanslarını önemli ölçüde yükseltmiştir. Püskürtme beton, saplamaalı kütlenin deplasmanını kontrol etmede büyük avantaja sahiptir. Püskürtme betonu tünellerde kullanılmasından evvel, saplamaaların birbiri ile etkileşimin sağlanması için uzun demir plakalar kullanılmaktaydı. Püskürtme betonun bulunmasıyla birlikte, NATM detaylarının keşfi ve çağdaş tahkimat prensibinin hayata geçirilmesi sağlanmıştır. Püskürtme betonun tarihçesine ilerde bir diğer başlık altında değinilecektir.

c) İlk Mekanik Ankrajlı Kaya Saplamaaları: Delik içi ekstra mekanik ankraj sağlamak için saplama gövdesinin ucunda açılan kanatlı aparat ile genişleme özelliğine sahip ilk kaya saplamaası 1947 senesinde Avusturalya’da bir baraj inşaatında kullanılmıştır. Avusturalya’da gerçekleştirilen ilk uygulama zemin deformasyonuna ihtiyaç

duymaksızın aktif tahkimat basıncı sağlayabilen çağdaş öngermeli kaya saplamalarının icadı için önemli bir dönüm noktasıydı.

d) Reçine Tipi Enjeksiyonlar: İlk reçine saplama enjeksiyonu ürünü 1956 senesinde Almanya’ da üretilmiştir. Kürlenme süresi kısa olan sentetik polimer reçine kısa süre içinde yük taşımaya başlayan kaya saplamaları için kullanılmaktadır. Reçine kartuşlarının kullanılması için ilk uygulama 1959 senesinde yine Almanya’da gerçekleştirilmiştir. Günümüzde piyasada bulunan birçok farklı malzeme ve çeşitte reçine bulunmaktadır. Reçine enjeksiyonlarının fiziksel ve kimyasal özellikleri patlatma uygulamasından kaynaklanan hasarlara ve yeraltı suyu temasına karşı geleneksel çimento şerbetlerine göre daha avantajlıdır. Günümüzde geliştirilen çok çeşitli reçine enjeksiyonları arasında en yaygın kullanılanlar epoksi bazlı ve silikat bazlı olanlarıdır.

e) Kablo Saplamlar: İlk defa yeraltı madenciliğinde 1963 senesinde kablo saplamaların Kanada’da kullandığını bilinmektedir. Kanada’daki ilk uygulamada maden shaftında taşıma işleminde kullanılan çelik halatların kesilerek saplama olarak kullanımı sağlanmıştır. 1964 senesinde kablo saplamalar Güney Afrika’daki madenlerde kullanılmaya başlanmıştır. Kablo saplamalar uzun delikler içerisinde derin kaya kütlelerinin güçlendirilmesi amaçlı kullanılabilirdiği için kaya mühendisliğinde avantaj sağlamıştır. 1970’li yıllarda İskandinav ve Avustralya madenlerinde de kullanılan bir saplama türüdür. 1980’li yıllarda ise dünyada sıkça uygulanır haline



gelmiş, tahkimat reaksiyonları daha iyi keşfedilmiş ve farklı çeşitlerde üretilmiştir.

f) İlk Sürtünmeli Kaya Saplaması (Split Set): Sürtünmeli kaya saplaması 1972 yılında Amerikalı Mühendis Dr. James Scott tarafından bulunmuştur. Saplama montajı hızlı ve kolay olduğu için tüm dünyada mühendisler tarafından oldukça ilgi ve kabul görmüştür. Enjeksiyon kullanılmadığı ve deliğe montajı ardından hemen yük taşıyabildiği için önemli bir avantaja sahiptir. Ancak, hizmet süreleri görece kısadır. Split setler üstüne literatürdeki ilk eser 1974 yılında “Zemin kontrolü problemleri için sürtünmeli kaya saplamaları ve uygulamaları” adı ile Dr. J. J. Scott tarafından sunulmuştur. Split setler boyları çoğu zaman 2 ile 3 metre aralığında değişen, uygulandıkları delik çapından %10 daha büyük nominal çapa sahip ve kesitlerinde genel olarak 1.25 cm veya 1.5 cm eninde yarık bulunduran çelik tüp gövdeli kaya saplamalarıdır. Nominal çaplarından daha küçük çapta delinen deliklere montajları yapıldığı esnada yarıktaki daralma ve çaplarındaki azalma sebebi ile delik çeperine basınç uygulama neticesinde sürtünme ile yük taşıma özelliklerine sahiptirler.

g) Başka Bir Sürtünmeli Kaya Bulonu (Swellex): Atlas Copco Şirketi 1980’li yıllarda swellex tipi sürtünmeli kaya saplamasını bulmuştur. Swellex tipi kaya saplaması çapı, yerleştirilmeden evvel saplama deliği çapından daha küçüktür. Swellex türü kaya saplamalarının en önemli avantajlarından biri, yerleştirme esnasında split setlerde olduğu gibi yüksek sürtünme kuvvetleri uygulanmaması ve yük taşıma kapasitesini sınırlayan mühim çizilme sorunu yaşamamasıdır. Swellex

saplamalar delik içine itildikten sonra şişirilerek delik cidarına baskı uygulamaktadır. Swellex tipi sürtünmeli saplamalar delik çeperine split setlere kıyasla daha fazla baskı uygulayabilmekte ve bu sebeple daha yüksek sürtünme ile yük taşıma kapasitesi özelliğine sahip olabilmektedir.

j) Polimer Kompozit Kaya Saplama ları: Kaya saplamalarının paslanma ve zamana ba ğlı olarak taşıma kapasitelerinin düşmesi sebebi ile çelik yerine alternatif, korozyon sorunu olmayan malzeme arayışlarına gidilmiştir. Kaya saplamalarının paslanmasını önlemek için lifli polimer (FRP) kompozit malzemeler kaya mühendisliği uygulamalarına girmiştir. FRP kompozit kaya saplaması ilk defa 1985 senesinde İsviçre’li Weidmann tarafınca kullanılmıştır. Ama çelikle karşılaştırıldığında birim fiyatı yüksek olan bu malzeme çelik kadar yaygın kullanım alanı bulamamıştır. Öte taraftan karbon fiber kompozit malzeme olarak adlandırılan CFRP (karbon elyaf takviyeli plastik) veya cam elyaf katkılı polimer (GFRP) kompozitler saplama malzemesi olarak mukavemet özelli ği açısından çeli ğe kıyasla iyi bir alternatiftir.

Yeraltı suları zamana ba ğlı kaya saplamalarının taşıma gücü kayıplarına yol açmaktadır. Kaya saplaması uygulamalarında kullanılan malzemelerin yüksek kimyasal dü rence sahip olması hizmet süresini artırmakta ve bu kapsamda yeni nesil polimer mühendislik malzemeleri önemli avantajlar sağlayabilmektedir.

h) Konik Uçlu Saplama: Derin madenlerde gerilme kontrollü oluşan kaya patlaması problemiyle mücadele etmek amacıyla, kaya saplama kullanımının kullanımıyla alakalı güçlüklerle karşı karşıya kalınmıştır. Kaya patlaması durumunda açığa çıkan enerjiyi soğurabilecek kaya saplama kullanımının kullanımı amaçlanmıştır. Kaya patlaması problemi olan madenlerde kullanılmak üzere geliştirilen ilk kaya saplama, gövdenin konik uç tarafından ankrajlanması sonucu artan enerji absorbe etme kapasitesine sahip olan konik uçlu kaya saplama saptamalarıdır. İlk kez 1992 senesinde kullanılmıştır. Güney Afrika'da geliştirilmiştir. Bu tür saptamaların deliği dolgu malzemesine ankraj performansını yükseltebilen genişleyen bir uca sahip tasarımı vardır. Bu genişleyen uç enjeksiyon içerisinde küreme yaparak saptama gövdesinin ani sıyırılma göstermesini engellemektedir.

i) Birbiri içinde Kayan Gövdeli Yüksek Enerji Emme Kapasiteli Kaya Saptamaları (Garford, Roofex): 2008 yılında, kaya patlaması sorunlarından kaynaklanan dinamik yüke karşı enerji sönümleme kapasitesini artırmak amacıyla polimerik ortam içinde kayan sağlam bir çelik gövdeye sahip Garford bulon (Avustralya) ve Roofex bulon (İsveç) geliştirildi. Garford ve Roofex bulonları (kaya saptamaları) yüksek deformasyon sınırına, sünek tahkimat reaksiyonlarına ve ayrıca yüksek statik yük taşıma kapasitesine sahip olup, kaya patlaması sorunuyla mücadelede etkin rol alabilmektedirler. Madencilikte derinliklerin artması madencileri yeni kaya patlaması sorunuyla karşı karşıya bırakacaktır, enerji sönümleyici kaya

saplamalarının günümüzden daha yaygın olarak gelecekte kullanılacağı öngörülmektedir.

j) İnce Püskürtme Kaplamalı Kaya Saplamları: Oksitlenme (korozyon) sorunu çelik tahkimat kullanımının en mühim sorunu olarak kabul görmektedir. Yeraltı suyu teması etkisinde yaşanan korozyon tahkimat elemanlarının mekanik değerlerinde düşüşe yol açmaktadır. Poliüre tipi ince püskürtme astar, kaya saplamaları ile beraber ilk kez 2013 senesinde kullanılmıştır. Poliüre su yalıtımı özelliği nedeni ile birçok alanda kaplama malzemesi olarak kullanılmaktadır. Poliüre türü kaplama çelik yüzeyine çok iyi yapışma göstermektedir ve kimyasal direnci içme suyu depolarında kullanılabilen ölçüde iyidir. Çelik saplama kaplaması olarak kullanıldığında taşıma kapasitesini ve paslanmaya karşı direnci artırması neticesinde hizmet süresini iyileştirmektedir.

k) Plastik Gövdeli Sürtünmeli Kaya Saplamları: Fiber katkılı polimer kompozitlerin sürtünmeli kaya saplaması olarak kullanımı araştırılmış ve plastik sürtünmeli saplamalar kullanılarak yapılan testlerde uygun yük taşıma kapasiteleri elde edilmiştir. Kömürlü ve Kesimal tarafından şekillendirilen plastik sürtünmeli saplamalar tipik çelik split setlere kıyasla daha kalın boru (tüp) duvarına sahip plastik tip setlerdir. Plastik split-setlerin montaj aletleri, malzeme taşıma ve uygulama detayları Türkiye ve Avustralya'da yapılan laboratuvar ve saha çalışmaları ile geliştirilmiştir. Çelik yerine paslanma problemi olmayan bir mühendislik polimerinin sürtünmeli kaya saplaması olarak kullanımı hizmet süresi açısından olumlu sonuçlar

sağlamaktadır. Bazı saha çalışmaları kapsamında sülfürik cevher içeriğinden kaynaklanan asidik yeraltı suyu sorunları olan bir madende uygulanan çelik split setlerin yük taşıma kapasitelerinin, galvanizli olmalarına rağmen sadece birkaç ay içinde % 50 oranında azalabildiği belirlenmiştir. Korozyona bağlı taşıma gücünün kaybolması problemine karşılık yüksek mukavemetli plastik kompozit gövdeli sürtünmeli saplamaların kullanımı önerilmiştir. Plastik temas yüzeyi ile çeliğe nazaran kaya içindeki deliklerde daha yüksek sürtünme katsayısının sağlanabileceği görülmüştür. Görece iyi sürtünme elde etmek için plastik tüplerin dışında lifsiz bir katman altında gövde taşıma gücünü artıracak kompozit bir plastic katmana sahip tasarımların etkili olacağı belirlenmiştir.

1) Tungsten Karbür Delici Uçları: Delik delme teknolojisindeki gelişmeler madencilik sektörünü önemli derecede etkilemiştir. Kaya saplamaları uygulamalarını daha kolay ve etkin hale getirmiştir. Aşınma direncinin yüksek olması sebebiyle tungsten karbür delici uçların icadı kaya mühendisliğinin önemli buluşlarından biri olarak kabul edilebilir. İlk olarak 19 yüzyılın son senelerinde üretilmiş olan tungsten karbür alaşım ilk olarak Fransa da piyasaya sürülmüştür. 1920’li yıllarda bir Amerikan firması üretime başlamıştır ve sinterlenmiş tungsten karbür alaşımını piyasaya sürmüştür. Tungsten karbür kullanımı ve buna paralel üretimi Almanya’da da hızla ilerlemiştir. Almanya’da 1930’lu yıllarda tungsten karbür üretimi ayda 1 tondan 40 tona yükselmiştir.

m) Basınçlı Havalı Kaya Delme Makineleri: 1850'lerden önce tünel kazı yöntemi 200 sene süreyle neredeyse hep aynıydı. Delme işlemi, ucu sivriltilmiş çelik çubukları tutan bir adam ve delmek için çekiçleyen 2 diğer adam tarafından yapılmaktaydı. Uçları köreldikçe delgi çubukları tekrar sivriltilirdi. Tek bir delik delme hızı üç saatte bir metre kadar yavaştı. Sert kayalarda delik delmek ise hızlı aşınma sebebi ile daha da yavaşlıyordu. 1850'lerden önce bu şekilde delinen deliklerin amacı patlayıcı yerleştirmektir, o dönem kaya saplamaları kullanılmıyordu. Aynaya yeteri kadar delik açıldıktan sonra, deliklere "kara barut" da denilen ilkel patlayıcı malzeme koyulurdu. 1850'li senelerden itibaren tünelcilik önemli yeniliklere imza attı. 1850'lerde basınçlı havalı kaya delme makinesi kullanımı, 1860'larda nitrogliserin patlayıcı kullanımı, 1870'lerde hidrolik kaya delme makinesi, 1930'larda tungsten karbür matkap ucu, 1950'lerde ANFO kullanımı gibi önemli ilerlemeler kaydedilmiştir. Buhar motoru 1840'larda bir kaya matkabı çalıştırmak için bir güç kaynağı olarak mevcut olmasına rağmen 1850'lerde bir tünel inşaatı içinde, ayna önünde buhar kazanı çalıştırılmıyordu. Sıcak kazan ve buhar galeri içinde çalışma şartlarını zorlaştırıyordu. Bu probleme bir çözüm, basınçlı havalı kaya delgi makineleri kullanmaktır. 1850'li yıllarda Avrupa madencilik endüstrisinde hava basınçlı delgi makineleri kullanıma girdi. Hava basınçlı delgi makinelerinin tünelcilik endüstrisinde ilk kez 1861 yılında kullanıldığı bilinmektedir. Mont Cenis Tüneli, Fransa'da Chambery ile İtalya'da Torino arasında bir demiryolu bağlantısı sağlamak için kazılmıştır. 1857 yılında yapımına başlanan tünel, 1861 yılına kadar ayda sadece 10 metre ilerleme hızı

ile manuel delme yöntemi kullanılarak inşa edilmiştir. Tünel kazısında verimliliği artırmak için kaya delme makinelerinin tasarımından Germano Sommeiller sorumluydu. 1861'de Mont Cenis Tüneli inşasında kullanılmak üzere havalı delme makinesini tanıttı. 1860'lı senelerin ortalarında Mont Cenis Tüneli'nde mekanize kaya delme bir çözüm haline geldiğinden, ilerleme hızı ayda 70 metreye yükseldi. ABD tünellerinde basınçlı havalı kaya delme makinesinin ilk kullanımı 1866 yılında Hoosac tüneline olmuştur. 1860'lı yılların sonlarında Amerika Birleşik Devletleri'nde hızlı bir şekilde farklı kaya delme makineleri geliştirilmiştir. Dönemin en verimli makinesini ABD'li mühendis Charles Burleigh üretmiştir. Hoosac tüneline Burleigh'in delme makinesi kullanılmaya başlanmış ve yeni çalışmalarla makinede önemli iyileştirmeler yapılmıştır. Kaya delgi makineleri yalnızca tünel kazısı yapılması için patlayıcı yerleştirilen deliklerin imalatı için değil, kaya saplamaları kullanılacak deliklerin hazırlanması için de kaya mühendisliği tarihinde önemli bir yere sahiptir. Kaya saplaması deliklerinin verimli olarak oluşturulabilmesi tünel tahkimat uygulamalarının da verimini olumlu yönde etkilemiştir. Zaman içerisinde havalı deliciler yerine hidrolik delici makineler daha çok kullanılır hale gelmiştir.

n) Hidrolik Deliciler: 1876 senesinde ilk hidrolik kaya delme makinesi bir Alman mühendis olan Alfred Brandt (1846-98) tarafından icat edildi. Brandt basınçlı hava yönteminde yer alan enerji kaybını önlemek için basınçlı hava delicilere benzeyen ancak su gücüyle çalışan bir makine geliştirdi. İlk makine başarısız oldu. Ama ikinci

makine delgi makineleri için bir dönüm noktası oldu. İkinci makine fiziksel özellik olarak saatte 1.8-2.5 m<sup>3</sup> su tüketimiyle, 8-15 hp gücüyle ve dakikada 200-300 devirde çalışmaktaydı. Hidrolik delicilerde yaşanan modernizasyon ile su yerine yağ kullanılmaya başlanmış ve bu günümüzde kullanılan kaya delme makinelerinin şeklini vermiştir. Bu kitabın “Kaya Mühendisliğinde Kazı Uygulamalarına yönelik bazı Teknoloji Tarihi Notları” başlığında delgi ekipmanlarının gelişimi konusunda diğer çeşitli detaylara değinilmiştir.

o) Jumbo Delici Makine: Ağır delici makineler ve yüksek boylarda delik açabilen cihazların etkin bir şekilde tutulması ve kontrol edilmesi, uygun montaj ekipmanlarının kullanılması gerekmektedir. Jumbo delicilerin icad edilmesi modern delme makinelerinin şekillendirilmesinde önemli bir mihenk taşı olarak kabul edilebilir. Hidrolik kontrollü mafsallı kolları olan ilk çalışan hidrolik darbeli kaya delicilerinin önderliğini Fransa’da büyük bir delgi ekipmanı üreticisi olan Montabert yapmıştır. İlk makine 1969 senesinde tanıtıldı. Ardından jumbo makineler farklı ülkelerde hızlı bir şekilde geliştirildi. Altı Avrupalı ve iki Amerikalı sondaj makinesi üreticisi, 1974'te yeni hidrolik döner ve darbeli kaya delme makinesinin kendi versiyonlarına sahipti. Jumbo delici, kaya mühendisliğinde delik açmayı kolaylaştırdı ve kazı oranlarını önemli ölçüde artırdı. Modern jumbo deliciler, kazının yanı sıra kaya saplama uygulamalarını önemli ölçüde kolaylaştırmıştır. Jumbo delici makinenin icadından evvel özellikle tavan için kaya saplaması deliklerinin açılması kolay



uygulanabilir değildi. Jumbo deliciler büyük kesitlerde tüneller içerisinde saplama deliklerinin oluşturulması konusunda verimi artırmıştır.

p) Kaya Saplama Makinaları: Jumbo deliciler, kaya saplama makinalarının yerleştirildiği deliklerin delinmesiyle beraber, kaya saplama makinalarını da yerleştirebilecek şekilde güncellenmiştir. Kaya saplama makinesi (rock bolter) olarak isimlendirilen makinelerde, deliği dolgulamak için teçhizatlar da bulunabilmektedir. Bu sebeple kaya saplama daha hızlı uygulanabilir hale gelmiştir. Kaya saplama makinalarının 1980'lerde kullanılmaya başladığı bilinmektedir. Kaya saplama makinaları (rock bolter) hem delgi işlemini hem saplama yerleştirme işlemini yapan makinalardır. Günümüzdeki kaya saplama makinaları 1980'lerdeki ilk örneklerine kıyasla teknolojik anlamda büyük ölçüde geliştirilmiştir. Bu konuda öne çıkan firmalardan biri Sandvik'tir.

r) Delici Uçlu Kaya Saplama Makinaları: 1980'li yıllardan beri kullanılan delici uçlu saplama makinaları, matkap ucu olan ön uca sahiptir. Yüksek montaj oranları ve ayrıca enjeksiyonun sondaj deliği içerisinde konsolide edilmesinde avantajlı olur. Delici uçlu kaya saplama makinaları, zayıf kaya kütlelerinde saplama montajı öncesi deliğin kapanması probleminin giderilmesi için çözüm sunmaktadır. Delgi işlemi gerçekleştiğinde saplama delik içerisine yerleştirilmiş olur ve deliğin kapanması saplama montajını engellemez. Kendisi delici olan saplama makinaları delik içinden çıkarılmadan dolgu işlemi gerçekleştirilmektedir. Bunun için uygun gövde tasarımına sahiptirler.

### *Püskürtme Betonun Tarihsel Gelişimi*

Beton malzeme tarihindeki en önemli gelişmelerden biri olarak 1824 yılında İngiliz Kimyager Joseph Aspdin Portland çimentosunu bulmuştur. Bugün beton karışımlarda yaygın kullanılan bağlayıcılar Portland çimentolarıdır. Bu çimentonun rengi İngiltere'nin güneyindeki Portland adası kireçtaşının rengine benzediği için ismini Portland çimentosu olarak almıştır. 1824 yılında Aspdin tarafından patenti alınan bu çimentonun üretimi için ilk fabrika yine Aspdin tarafından 1825 yılında İngiltere'de kurulmuştur. 1843 yılına gelindiğinde İngiltere'deki Portland çimentosu fabrikası sayısı 4 olmuştur. Daha önce kullanılan bağlayıcılara kıyasla görece daha yüksek mukavemet sağlayabilen Portland çimentosu keşfinden kısa süre sonra hızla yaygınlaşmış ve mühendislik tarihinde bir devrime yol açarak betonun temel yapı malzemesi olmasını sağlamıştır. 1850'li yıllarda Almanya, Fransa ve Belçika'da da Portland çimentosu fabrikaları kurulmuştur. Bu dönemde beton yapı malzemesi olarak kullanılmaya başlanmış ve küçük ölçekli betonarme yapıların inşaatları başlamıştır. Beton tarihinde önemli bir dönem olan 1850'li yıllarda Fransız Joseph Monier tarafından demir donatılı beton kullanımı başlatılmıştır. Monier demir donatıyı ilk olarak bina yapımında değil, beton saksıların çatlak direncini artırmak için kullanmıştır. İlk betonarme bina 1854 yılında İngiliz William Boutland tarafından yapılmıştır. 1869 yılında ise yapılarda önüretimli (prefabrik) beton kullanımı başlamıştır. Bu konudaki ilk patent

Fransız Francois Coignet tarafından ABD’de alınmıştır. 1871 yılında ABD’de yüksek kapasiteli üretime olanak sağlayan bir Portland çimentosu fabrikası kurulmuştur. Beton 19. yüzyılın ikinci yarısı Avrupa ve ABD’de hızla yaygınlaşmıştır. İlk beton su tankı 1868 yılında, ilk beton köprü 1873 yılında, ilk beton merdiven 1875 yılında ve ilk beton demiryolu traversi 1880 yılında yapılmıştır. 19. yüzyılın ikinci yarısında betondan tekne dahi yapılmıştır. 1884 yılında ilk nervürlü donatı kullanılmıştır. Betonun malzeme özellikleri 19. yüzyılın ikinci yarısında görece detaylı olarak anlaşılmış, ilk betonarme teorileri ve hesap yöntemleri üzerine kitap 1886 yılında Alman bilim adamı Gustav Adolf Wayss tarafından yazılmıştır. 20. yüzyıl başlarken gerek akademide gerek sektörde betonarme ilgi çeken bir konudur. 1903 yılında hazır beton üretimi ilk kez Almanya’da başlamıştır. 1909 yılında betonarme binalar için su geçirmez boya bulunmuştur. 1911 yılında ise ülkemizde ilk Portland çimento fabrikası kurulmuştur. 1916 yılında uluslararası Portland çimento birliği kurulmuş ve yine aynı yıl transmikserler kullanılmaya başlamıştır. 1918 yılında meşhur slump (çökme) deneyi bulunmuş, 1928 yılında öngermeli donatılı beton yapımı gerçekleştirilmiştir. 1920’li yıllarda püskürtme beton ABD ve Avrupa’da maden galerilerinde ve tünel inşaatlarında yaygınlaşmaya başlamıştır. Püskürtme betonun ilk denemesi ise 1914 yılında ABD’de gerçekleştirilmiş ve olumlu sonuçlar alınmıştır. 1930’lu yıllarda uçucu kül ve benzeri çeşitli katkıları beton içerisinde yaygınlaşmaya başlamıştır. 1970’li yıllarda çelik lif beton içerisinde kullanılmaya başlamıştır. Lifin amacı betonun özellikle çekme mukavemetini, çatlak ilerleme direncini,

süneklik ve enerji sönmleme kapasitesini artırmaktır. Hasır vb. donatı kurulum işlemi gerektirmediği ve doğrudan beton karışımı içerisine eklendiği için zamandan da önemli bir kazanç sağlar. 1980’li yıllarda priz hızlandırıcı, priz geciktirici ve akışkanlaştırıcı kimyasal katkıları kullanıma girmiştir. Kaya mühendisliği açısından püskürtme beton önemli bir devrimi sağlamıştır. Çünkü önceki yöntemlere kıyasla hızlı uygulanabilen bir kaplamadır ve tünel içi konverjansların kontrol edilmesi için avantaj sağlamaktadır. Kalıp vb. ekstra maliyetler gerekmeksizin hızlı uygulamalar gerçekleştirilebilir. Kaya kütlelerinin kısa süre içerisinde hava ile temasının kesilmesi bir diğer avantajı olarak görünmektedir. Kazı sonrası hızlı tahkimat basıncı sağlaması ve özellikle kaya saplamaları birlikte kullanımı kaya kütlelerinin gevşemesini engellemiş, kaya kütlelerinin kendi yükünü taşımasına olanak sağlamıştır. Bu anlamda, çağdaş tünel tahkimatı anlayışının oluşmasına olanak vermiştir.

Püskürtme betonun bulunuşuna dair elde edilen bilgiler de oldukça ilginçtir. “Gunitte” adı ile bilinen ilk püskürtme beton, 20. yüzyılın başlarında Amerikalı tahnitçi Carl Akeley tarafından hayvan modellerini doldurmak için kullanılmıştır. Hava ile katı malzemeyi taşıyan bir sistemin çıkışında su ile karışım sağlanarak uygulama gerçekleştirilmiştir. Herhangi bir mikserde su ve katı karışımı gerçekleştirilmeyen, doğrudan tabanca ağzında karışım sağlanan bu uygulama günümüzde uygulanan yaş karışım ve kuru karışımdan farklıdır. Carl Akeley 1911 yılında çimento tabancası “Cement gun” adındaki bu buluşu için patent almıştır. Karışımın bir mikserde

oluşturulduktan sonra püskürtülmemesi buluşun yapıldığı tarih düşünüldüğü zaman normal karşılanabilir. Çünkü, mikser Carl Akeley'in patent almasından sadece bir yıl önce 1910 yılında Chester A. Beach tarafından icat edilmiştir. Bu bilgi ışığında, 19. yüzyıldaki beton karışımların manuel olarak hazırlandığı sonucuna varılabilir.

“Gunité” kavramından farklı olarak 1930’lu yılların başlarında Amerikan Demiryolu Mühendisleri Birliği (AREA) “Shotcrete” yani püskürtme beton terimini tanımlamıştır. Çünkü, püskürtme beton uygulamasında Akeley’in uygulamasından farklı olarak katı ve sıvı karıştırıldıktan sonra sistem içinde taşınmakta ve hava ile püskürtülmekteydi. 1950’li yılların başına kadar kuru karışım yöntemini içeren püskürtme beton uygulamasının yaş karışım şeklinde de uygulanmaya başlaması ile farklı iki terimin oluşmasına yönelik tartışmalar yaşanmıştır. AREA tarafından yaş ve kuru karışım olarak ayrılmaksızın uygulamaların püskürtme beton başlığı altında toplanması gerektiği önerilmiştir. Püskürtme beton, isminin konmasından önce uygulanmaya başlamıştır. İlk püskürtme betonun 1914 yılında uygulandığı bilinmektedir. Amerika Birleşik Devletleri’ndeki Bureau madeninde 1914 yılındaki uygulamanın olumlu sonuçları neticesinde, uygulama hızla yaygınlaşmış ve geliştirilmiştir. Çelik hasır üzerine püskürtme beton uygulanması ilk kez 1918 yılında önerilmiştir. 1920 yılı içerisinde ABD’de başka bir madende toplam 2,7 kilometre uzunluğundaki nakliyat galerilerinde püskürtme beton uygulanmıştır. Alman kaynaklarında 1920’li yıllarda püskürtme beton kaplama yöntemi için “spritzenbetonmethode”

tanımına denk gelinmiştir. Almanya'daki ilk püskürtme beton uygulaması 1922 yılında 6 kilometre uzunluğunda Heimbach tüneline gerçekleştirilmiştir. 1927 yılında Zürih'teki Ulmberg demiryolu tüneline püskürtme beton uygulanmıştır. Bu tünelde püskürtme beton çelik hasır donatı ile birlikte uygulanmıştır. Çelik bağ ve ahşap tahkimatın birlikte kullanıldığı Kanada Ontario'daki McIntyre madeninde püskürtme betonun ahşapın yarı maliyeti ile alternatifi olarak kullanılabilirdiği belirtilmiştir. ABD Kaliforniya'daki 1930'lu yıllarda tamamlanan 31 kilometre uzunluğundaki Hetch Hetchy su tüneline gerçekleştirilen uygulama, püskürtme beton tarihi için önemlidir ve uygulamanın Dünya'da yaygınlaşmasına büyük katkı sağlamıştır.

Püskürtme beton uygulamaları çeşitli katkıların kullanımı ile günümüze kadar hızla gelişmiştir. Aşağıda çeşitli katkılara, kullanım amaçları ve beton içerisindeki ilk kullanıldığı tarihlere yönelik bilgiler verilmiştir:

- Uçucu kül, ilk kez 1929 yılında Amerika Birleşik Devletleri'ndeki Hoover Barajı inşasında kullanılmıştır. Püskürtme beton içerisinde yaygın kullanılmayan katkı, puzolanik malzeme özelliği göstermekte, çimento ikamesi olarak kullanılarak beton maliyetini azaltmakta, agrega ikamesi olarak kullanıldığında ise dayanım değerlerini olumlu yönde etkilemektedir.
- 1944 yılında Amerika Birleşik Devletleri'nde silis dumanının beton katkısı olarak kullanımına yönelik ilk patent alınmıştır. Silis

dumanı puzolanik bir katkı olup ince yapısından dolayı mikro boşlukları doldurur ve betonun boşluk oranını azaltır. Su geliri olan yeraltı püskürtme beton uygulamalarında yapışma özelliğini artırır, geri sekme problemini azaltır. Çelik lif katkının beton içerisindeki aderansını ve kullanım verimini artırır.

- İlk, beton katkısı olarak ne zaman kullanıldığına dair bir bilgiye ulaşılamasa da, 1909 yılında Almanya’da fırın cürufunun puzolanik beton katkısı olarak kullanıldığına yönelik bilgi mevcuttur.

Püskürtme beton içerisindeki agrega tane boyu arttıkça geri sekme problemi artacağından, ince agrega kullanılmaktadır, ve bu durum püskürtülebilirlik açısından karışım içinde daha çok su kullanımı ihtiyacına yol açmaktadır. Su/çimento oranı kütlece belli bir değeri geçtiği zaman dayanım düşmeye başlar. Aşırı su/çimento oranına sahip olmadan istenen akışkanlık değerine ulaşmak için kullanılan akışkanlaştırıcı katkı, püskürtme betonun hidratasyon hızını artırarak erken tahkimat basıncı sağlanması için kullanılan priz hızlandırıcı, püskürtülecek betonun transmikserde donmasını önlemek için kullanılan priz geciktiriciler sık rastlanılan ve ihtiyaca yönelik beton eksikliklerini gidererek püskürtme beton uygulamalarının gelişiminde önemli role sahip olan kimyasal katkılardır. Priz geciktirici ve hızlandırıcı katkılar 1980’li yıllardan, akışkanlaştırıcı katkı ise 1960’lı yılların ortalarından bu yana kullanılmaktadır.

Demir donatı olarak püskürtme beton uygulamalarında hasır halen kullanılmakta olsa da kurulum zamanı, işçilik maliyetleri ve geri

sekme problemini artırmasından dolayı hasıra 1970’li yıllarda alternatif olarak çelik lif uygulaması başlatılmıştır. Doğal lif katkı çok eski çağlarda da kullanılmıştır. Örneğin, Romalılar betonlarındaki bağlayıcı malzemelerin kurumasıyla oluşan çatlamların önüne geçmek için at kuyruğu ve saçından elde ettikleri lifleri kullanmışlardır. Çelik lif, betonun çatlak direncini, sünekliğini ve darbe direncini arttırmaktadır. Uzunluk çap oranı, fiber malzemesinin çekme dayanımı ve geometrik biçimi çelik fiberlerin sınıflamasında kullanılan temel özelliklerdendir. Çelik lif, püskürtme beton için basma ve özellikle çekme dayanımı değerlerinde artışlar sağlamaktadır. Potensiyel çatlak yüzeyinde köprüleme etkisi ile çatlama ve çatlak ilerleme direncini arttırmaktadır. Çelik lif, betonun gevrekliğini azalttığı, darbe dayanımını artırdığı için dinamik yüklemelere karşı betona avantaj sağlamaktadır.

Hem hasır hem lif için çelik malzemesi alternatifi olarak günümüzde çeşitli mühendislik polimerlerinin kullanıldığı görülmektedir. Çeliğin paslanma problemi, yeni üretilen mühendislik polimerlerinin yüksek mekanik parametre ve betonla yüksek adezyon değerleri yeni malzemelerin kaya mühendisliğine girmesine yol açmaktadır. Çeliğin alternatifi olarak en yaygın kullanılan polimer lif malzemeleri polipropilen ve poliamid türleridir.

Püskürtme beton uygulamasının tünelcilik alanına girmesi ve kaya sapsamaları ile birlikte kullanımı tünelcilik adına önemli bir devrim olan Yeni Avusturya metodunun bulunmasına olanak sağlamıştır. Aşırı gevşemeye müsaade etmeden kontrollü deformasyonlar ile



kayacı kendine taşıttırmayı amaçlayan çağdaş tahkimat anlayışına yönelik uygulamalar mümkün kılınmıştır. Ancak, püskürtme betonun gevrek malzeme özelliği ve deformasyonlara kırılmadan çok kısıtlı müsaade etmesi gibi çeşitli etkenlerden dolayı püskürtme beton için katkılar ve alternatif püskürtme malzemeleri incelenmektedir. Zemine bağlı olarak ideal tahkimat reaksiyonu değişeceği için tüneller için maliyetleri açısından malzeme tercihi son derece kritiktir.

Sıradaki kısımda, günümüzde kullanımına devam edilen, yeni Avusturya metodu bulunmadan önce geleneksel tahkimat anlayışı ile yeraltı yapıları inşa edilirken en önemli yük taşıma elemanı olarak kullanılan çelik bağ tahkimatlarına değinilecektir.

### *Çelik Bağlar*

Henüz çelik tahkimatın yaygınlaşmadığı ve ahşapın ana tahkimat malzemesi olarak kullanıldığı dönemlerde, günümüzde kazı yapılabilen pek çok zemin şartlarında kazı yapılamamaktaydı. Çelik bağların kullanımı ile daha bozuk zemin şartlarında kazı yapılması mümkün kılınmıştır. Çelik bağların ilk ne zaman kullanıldığına yönelik kesin bir tarihe ulaşılammış olsa da 1880'li yıllarda İngiliz kömür madenlerinde yaygın kullanılan bir tahkimat olduğu görülmektedir. Alman madenlerine ise ilk kez çelik bağların 1862 yılında girdiği biliniyor. Sıkışma ve şişme problemi olan zeminlerde yapılan kazılar sonucu ortaya çıkan konverjansa müsaade ederken sağlanan tahkimat basıncında azalma yaşanmaması yönündeki

gereksinimler neticesinde 1932 yılında eklem yerlerinden birbiri içinde kayabilen çelik bağlar üretilmiştir. Ayrıca, daha az malzeme kullanılarak, düğüm noktalarına yükleri dağıtan ve taşıma kapasitesinde verim sağlayan kafes gövdeli kemerlerin kullanımı çelik bağ tahkimatları adına önemli bir gelişim sağlamıştır.

Çelik bağ tahkimat tasarımına yönelik yaklaşımların günümüzde en yaygın bilinenlerinden birini uygulamadaki gözlemlerine dayanarak çelik bağların taşıdığı yük kemerini tanımlayan Terzaghi önermiştir. Karl von Terzaghi, 1908 yılında henüz 25 yaşındayken Hırvatistan'daki bir hidroelektrik santrali için çelik bağ tahkimat tasarımı yapmıştır. Uzun yıllar içerisindeki tecrübeleri ışığında 1946 yılında Proctor ve White ile birlikte yazdığı "Tunnel with Steel Supports" adlı kitabını yayınlamıştır. Terzaghi, çelik bağlara gelen yükleri ve oluşan yük kemerinin şeklini, boyutlarını tanımlarken ağırlıklı olarak çelik bağların kullanıldığı patlatmalı kazı yapılan alanlarda yaptığı çalışmalardaki tecrübelerinden yararlanmıştır.

Yük kemerinin boyutlarına bağlı olarak çelik bağların taşıyacağı yük değişmektedir. Terzaghi'den önce, Bierbaumer'in geleneksel tahkimatların maruz kaldığı yüklerle ilgili önemli pek çok bilgiyi 1913 yılında yayınladığı, yük kemeri kavramından bahsettiği bilinmektedir. Çelik bağların taşınması gereken gevşemiş tavan yükü hesabına yönelik Terzaghi ve Bierbaumer'in birbirine benzer ama farklı yaklaşımları mevcuttur. 20. yüzyılın ikinci yarısında çelik bağ tasarımına yönelik önemli bir bilimsel bilgi birikiminin oluştuğunu söylemek mümkündür. 19. yüzyıldaki tecrübe ve artan uygulama

alanları 20. yüzyılda çelik bağların tahkimat özelliklerinin iyi anlaşılması konusunda önemli altyapı sağlamıştır. Çelik bağlar 20. yüzyılın ilk yarısında çoğu geleneksel tahkimat uygulamalarında ana yük taşıma elamanı olarak kullanılmıştır. Çelik bağlar, yük altına girip, gevşeyen kayayı taşıma prensibine dayalı olarak tasarlanmaktaydı. Çelik bağlar ile zemin arasında boşluklar kalması ciddi konverjanslara yol açabilmektedir. Özellikle patlatmalı kazılarda kesit şeklinin düzgün olmaması, zemin ve tahkimat arasındaki boşlukların artması süreksizlikler arasındaki gevsemeye neden olur.

Kaya saplamalarının kullanımı ile deformasyonlar kontrol altına alınıp zeminin gevşemesi neticesinde ölü yük oluşturulması engellenmiştir, kayanın kendisini taşıyan bir tahkimat malzemesi gibi çalışması ve çağdaş tahkimat anlayışının gelişmesi sağlanmıştır. Yeni tahkimat malzemelerine olan ihtiyaçlar, yeni malzeme seçimlerine olan yönelimler, tünelcilik tarihi boyunca zemin reaksiyonlarının daha iyi anlaşılması ile etkilenmiştir. 19. yüzyılın ikinci çeyreği sayıları hızla artan demiryolu tüneli çalışmaları tünelciliğin günümüzdeki hızlı ilerleyişi üzerinde etkilere sahiptir. Tünelciliğe yönelik pek çok tanım bu yıllarda ortaya çıkmıştır. Örneğin, zemin reaksiyonları gevşeme, sıkışma, şişme gibi alt başlıklar altında toplanmış, yenilme türlerine yönelik sınıflamalar yapılmıştır. Tünel ismi dahi bu yıllarda konulmuştur. Tünel ismi ilk kez 19. yüzyılın ikinci çeyreğinde İngiltere’deki bir demir yolu tüneli inşaatında kullanılmıştır. Fransızca çardak anlamına gelen “tonnelle” kelimesinden türetilerek ingilizceye “tunnel” şeklinde girmiştir. Zemin özelliklerinin daha iyi tanınması ve

çelik malzemelerin gelişimi ile 19. yüzyılda çelik tahkimat malzemesi olarak tünelciliğe girmiştir. Eski demiryolu tünellerinde, çelik bağ, püskürtme beton ve kaya saptamaları bulunmadan önce kalıcı kaplama duvarlar örülmekteymiş. Bu durumun oldukça büyük zaman kaybına neden olduğu rahatlıkla tahmin edilebilir. Ayrıca bu uygulamada, kesit ile arada kalan boşluklar neticesinde gevşemeye müsade edilmesi, taş veya tuğlalar arasındaki bağlayıcının kendi veya yapışma özelliklerine bağlı sınırlı tahkimat basıncı sağlaması gibi dezavantajlar vardır.

Çelik bağların kullanılmaya başlaması pratik olarak yüksek tahkimat basınçlarının sağlanmasına olanak tanımıştır. Bu yüzden, tünelcilik tarihinde önemli bir yeniliktir. Ancak, çeliğin paslanma problemi zamanla dayanımında düşüşe sebebiyet vermektedir. Günümüzde çelik bağların yerine yüksek mukavemetli ve rijit mühendislik polimerlerinin kullanımına yönelik bir uygulamaya denk gelinmemiştir. Bundaki en büyük neden çeliğe deformasyon modülü olarak eşdeğer olan polimer malzemelerin çok pahalı olmalarıdır. Örneğin, çelik yerine CFRP, hem dayanım anlamında, hem korozyona uğramama hem de hafifliği nedeni ile uygulandığındaki kolaylığı anlamında avantaj sağlasa da, çeliğe nazaran çok pahalı bir malzeme olmasından dolayı tünelcilikte çelik bağ alternatifi olarak kullanılmamaktadır. Ekonomik olarak su yalıtımını sağlamak için çeşitli polimer kaplamalar veya su geçirmez boya kaplamalar ile çelik bağ tahkimatların hizmet süreleri uzatılabilmekte ve daha emniyetli uygulanabilmektedir.

## *Enjeksiyon Malzemeleri*

Kazı yapılacak yada yapılmış kaya kütesini iyileştirmek, tahkimat elemanları ile zemin arasındaki boşlukları doldurmak gibi çeşitli amaçlarla kullanılmakta olan zemin enjeksiyonları için geçmiş yıllarda en yaygın kullanılan enjeksiyon malzemesi olarak geleneksel çimento ve su karışımı görülse de, günümüz malzeme biliminin geldiği noktada çok daha avantajlı enjeksiyon malzemelerinin olduğunu söylemek mümkündür. Enjeksiyon malzemesininin çatlaklara iyi nüfuz etmesi için düşük viskozite değerlerine sahip olması, kolay uygulanabilir olması, hızlı reaksiyon göstermesi ve erken tahkimat basıncı sağlaması, ıslak zeminlere yapışabilmesi ve ürün türüne göre nemli/sulu ortamda katılaşma (polimerleşme) tepkimelerinin etkilenmemesi malzeme seçiminde önem arz eden avantajlardandır.

Günümüzde üretilen akrilat, epoksi, silikat, poliüretan, vd. bazlı enjeksiyon malzemeleri bu sayılan özellikler açısından tercih edilebilir malzemelerdir. Tepkimelerinin başlaması ile dayanım değerleri hızlı artış göstermekte olan bu tür termoset polimer bazlı sentetik enjeksiyon malzemeleri yeni milenyuma girildiği ilk yıllardan itibaren geoteknik uygulamalarında giderek popülerleşmektedir.

Poliüre ve poliüretan bazlı dolguların birkaç saniyeye kadar düşebilen sıvı fazda kalma süreleri vardır. Kimyasal tepkimeler devam ederken ortamdaki su özellikle poliüretan bazlı bazı ürünlerin dayanım değerlerini olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Ancak, ortamda su

bulunsa dahi polimerleşme tepkimeleri verimli gerçekleşebilen, su gelirimini kesmek için kullanılmakta olan poliüretan ürünler de mevcuttur. Özellikle poliüretan türü enjeksiyon malzemeler kendi içerisinde önemli farklılıklar göstermektedir, bu yüzden poliüretan bazlı enjeksiyon malzemeler temin edilirken ürün özellikleri detaylı sorgulanmalıdır.

Poliüretan, kauçuk yerine kullanılmak üzere, ünlü bilim adamı Prof. Dr. Otto Bayer tarafından 2. Dünya Savaşının ilk yıllarında bulunmuştur. O yıllardan bu yana bilim adamlarınca sürekli geliştirilen poliüretan formülasyonları sayesinde artık günlük yaşantımızın pekçok evresinde poliüretan içeren bir ürün yer almaktadır. Poliüretan köpük ise 1954 yılında bulunmuştur. Poliüretan köpüğü oluşturan sıvı fazdaki iki birleşen poliöl ve izosiyanat birlikte ekzotermik olarak kimyasal tepkimeye girerler. Reaksiyon ile üç boyutta köpürerek ilerleme gösterildiğinden dolayı, malzeme içinde bulunduğu hacmin boşluklarını doldurarak onun şeklini alır. Köpükler daha çok boşluk doldurmak (köpük yoğunluğuna bağlı olarak sökülen hacimlerin dolgusu dahil) amaçlı kullanılırlar. Poliüretanın 1968 yılında İskoçya'da kömür madenciliğinde kullanıldığı ve Dünya'da günümüzde yayılmış olduğu görülmektedir.

Poliüre de poliüretan gibi izosiyanat bazlı bir kopolimerlerdir. İlk kez 1959 yılında geliştirilmiş ve 1960'lı yıllar boyunca sadece spandeks malzemesi olarak kullanılmışlardır. Mekanik özellikleri zamanla anlaşılan ve iyileştirilen poliüreler, 1990'lı yıllardan itibaren yalıtım amaçlı yüzey kaplama malzemesi olarak püskürtme yöntemi ile

uygulanmaktadırlar. Poliürenin PİK malzemesi ve su yalıtım (membran) malzemesi olarak kullanımının yanı sıra, yeni milenyumda zemin enjeksiyon malzemesi olarak ta kaya mühendisliğine girdiği görülmektedir.

Zemini güçlendirmek amacı ile bazı termoset polimer malzemeler gibi sıvı fazda uygulanabilen koloidal silica, mikro çimento su karışımı veya geleneksel çimento gibi katı içerikli sulu süspansiyon enjeksiyon malzemeleri şeklinde de uygulanabilir. Termoset polimerler katı partikül içermedikleri için difüzyon verimini jel süresi ve viskoziteleri belirler. Bu anlamda, yeni nesil enjeksiyon malzemeleri kimyasal katkıları ile çok düşük viskozite değerlerine sahip olabilmekte ve avantaj sağlamaktadır. Katı partikül içerikli (koloidal silica, mikro çimento, çimento gibi) enjeksiyonlarda ise partikül boyutları çatlaklara nüfuz etme açısından belirleyici etkiye sahiptir.

Mikro çimento, kullanımı yukarıda bahsedilen polimer malzemelere nazaran daha düşük maliyetlere sahip bir enjeksiyon malzemesidir. Ancak, yeraltı sularından hidratasyon tepkimeleri olumsuz yönde etkilenmektedir. Tipik olarak %90-95 dolaylarında tane boyutu 15 mikronun altında olan bu tür çimentolar zemine nüfuz etme anlamında geleneksel çimentolara nazaran önemli avantaja sahiptirler.

Silikon dioksit bazlı koloidal nanometrik silika jeller düşük viskozite değerleri nedeni ile uygulama kolaylığı sağlamakta olan ve hızlandırıcı katkı ile kürlenme süreleri düşürülebilen enjeksiyon malzemeleridir. Yeraltı suları koloidal silikalar için verimi düşürür.

Sulu olarak enjekte edilmekte olan koloidal silikalar için, beton oluşumunda olduğu gibi ortamda aşırı su bulunmamalıdır. Su, katalizör katkı ve silikon dioksit yüzeyi arasındaki kimyasal etkileşim ile taneler birbirlerine yapışırlar. Koloidal silikon dioksit enjeksiyonlar ince tane boyutları nedeni ile mikro çimentoya nazaran çok daha dar çatlaklara nüfuz edebilir.

Mikro çimento ve koloidal silika sentetik kimyasal enjeksiyonlara nazaran daha ucuz olsa da dayanım değerleri ve sulu ortamlardaki performansları düşünüldüğünde uygulamaya bağlı olarak daha pahalı, akrilat, silikat veya epoksi bazlı kimyasal (sentetik polimer) enjeksiyon malzemeleri yüksek fiyatlarına rağmen tercih edilebilir. Günümüz uygulamalarında yerini hızla almakta olan polimer bazlı yeni enjeksiyon malzemeleri tünelcilik uygulamalarında son 25-30 yıllık dönemde yaşanan önemli gelişmeler arasındadır. Yeni malzemelerin uygulama alanlarına girmesi ile tarih boyunca kaya mühendisliği adına devrimler yaşanmış ve geliştirilen yeni yöntemlerin çeşitli eksiklikleri yeni malzeme seçimleri ile giderilebilmiştir. Kaya mühendisliğinin gelecekteki yönelimleri doğrultusunda yeni malzemelerin uygulama alanlarına gireceği, bazen de yeni malzemelerin kaya mühendisliği uygulamalarını yönlendireceği tahmin edilebilmektedir. Örneğin, her biri bir devrim niteliğinde olan betonun püskürtülerek uygulanmaya başlaması (1910'lar) ve yeraltı yapılarına tahkimat malzemesi olarak girmesi (1920'ler), çelik kaya saplamalarının üretilmesi (1913 öncesi) ve püskürtme beton ile birlikte kullanımı (1930'lar), Avrupa'da kaya



saplama ve püskürtme betonun birlikte kullanımının yaygınlaşması (1940'lar ve 50'ler) geleneksel tahkimat anlayışını değiştiren yeni Avusturya tünel açma metodunun 1950'li yıllarda bulunuşundaki önemli etkenlerdir. Yeni tahkimat malzemeleri yeni bir tahkimat anlayışının doğmasını sağlamıştır. 20. yüzyıl kaya tahkimat uygulamalarında çağdaş tahkimat anlayışının geliştirildiği, birçok devrimin yaşandığı önemli bir yüzyıl olmuştur.

Günümüzdeki artmış şehir nüfusları ve yüzeydeki kısıtlı kullanım alanlarından dolayı yeraltı kullanımına ihtiyaç geçmişe nazaran daha çoktur. Günümüzde kazı yapılan birçok zemin şartlarında tahkimat malzemelerinin yetersizliği nedeni ile özellikle 20. yüzyıl öncesi yeraltı açıklıkları oluşturulamamıştır. Uygulama alanlarındaki verim ve maliyetler açısından gelişen malzeme bilimi yakından takip edilmelidir. Günümüzde yüksek dayanımlı yeni mühendislik polimerleri üretilmektedir. Mekanik özellikleri çok geniş aralıkta değişen, dinamik yüklere karşı yüksek direnç gösteren, hafif, korozyon problemi olmayan, kolay uygulanabilir mühendislik polimerleri üretilmekte ve türetilmektedir. 1980'li yıllardan itibaren birçok farklı geosentetiğin kaya mühendisliğine girerek birçok sorunun çözümüne ulaşılabildiğini söylemek mümkündür.

Geçmişten günümüze kaya mühendisliğinin yeni kilometre taşlarına, kayaya yeni sürprizler yapılarak ulaşılabildiği ve bu sürprizlerin önemli oranda yeni malzeme seçimleri ile ilgili olduğu söylenebilir. 20. yüzyılda gelişen yeni tahkimat türleri ve anlayışı ile yaşanan

devrimin etkilerinin ülkemizde ne ölçüde ve ne zaman görüldüğü konusu sıradaki başlık altında değerlendirilecektir.

*Cumhuriyetimizin ilk 100 yılında (Galeri) Tahkimat Uygulamalarımız Üzerine bir Değerlendirme*

Yeni Avusturya Tünel Açma Yöntemi bulunmadan önce tahkimat işleri yüzlerce yıl aynı geleneksel anlayışa dayalı olarak gerçekleştirilmekteydi. Kaya kütlesi gevşer ve tahkimat gevşeyen kaya kütesinin yükünü taşırdı. Çünkü kaya kütesinin gevşemesini engelleyebilecek, kendi yükünü taşımasına yardımcı olacak püskürtme beton veya kaya saplamaları gibi çağdaş tahkimat anlayışına yönelik güçlendirme yöntemleri 19. yüzyılda ve öncesinde mevcut değildi. Ayrıca, kaya kütlelerinin güçlendirilmesi için günümüzde kullanılanlar gibi enjeksiyon malzemeleri de henüz mevcut değildi. Sanayi devriminin bir neticesi olarak 19. yüzyılda yeni ulaşım ağlarına ihtiyaç duyulması, sanayileşmenin gereği daha çok yeraltı kaynaklarının kullanıma girmesi tünel inşaatları ve maden galerileri gibi kaya kütlesi içinde gerçekleştirilen kazıların sayısını artırmıştır. Tünelcilik tarihinde en önemli atılım yaşanan yüzyıllardan biri tünel kazı miktarlarındaki artış oranının çok yükseldiği, tünelcilikte yeni ufukların keşfedildiği, mekanize kazılar ve yeni çelik profil bağ tahkimatların kullanıma girdiği 19. yüzyıldır. 19. yüzyıl tünelcilik ve madencilik tarihinde bilimsel ve teknolojik anlamda zor imtihanların verildiği bir yüzyıl olmuştur. 20. yüzyılda kaya kütlesi

davranışlarının daha iyi anlaşılmasını, kaya mekaniği bilim dalının akademide kuruluşunu, çağdaş tahkimat anlayışının keşfini sağlayan ve modern tahkimat tasarımlarını mümkün kılan önemli tecrübelerin büyük bir bölümü 19. yüzyılda yaşanmıştır. Kaya saplamalarının 19. yüzyıl sonlarında kullanıma girdiği zannedilmekle beraber ilk patent başvurusu 1913 yılında yapılmıştır. Püskürtme betona yönelik ilk uygulamalar ise 1910'lu yıllarda gerçekleştirilmiştir. 20. yüzyıl modern tahkimat elemanlarının uygulamaya girmesi ve tahkimat stratejilerinin değiştirilmesi için tünelcilik tarihindeki en büyük devrimin yaşandığı yüzyıl olmuştur. 19. yüzyıldan gelen tecrübeler, 20. yüzyılda yaşanan yenilikçi yaklaşımlar ile birleşmiş ve tünel tahkimat anlayışı yüzyılın ortalarında kökten değişmiştir. 1950'li yıllarda yayınlanan Yeni Avusturya Tünelcilik Metodunun ilkeleri devrimin gerçekleştiğinin bir göstergesi niteliğindedir. Kaya saplamaları ve püskürtme betonun birlikte kullanılmaya başlanarak hızla Avrupa ve ABD madenlerinde (ve tünelciliğinde) yaygınlaşması süreci 20. yüzyılın ilk yarısında gerçekleşmiştir. Kaya saplamaları, püskürtme beton günümüzde Dünya'nın her yerinde kullanılan, sağladığı avantajları tüm ülkelerde bilinen yaygın tahkimat/güçlendirme türleridir. Çağdaş tahkimat anlayışının keşfini mümkün kılan en önemli sebep kaya saplamaları ve püskürtme betonun birlikte kullanıma girmeleridir. Avrupa bu yeni tahkimatları 20. yüzyılın ilk çeyreğinde madenlerinde kullanmaya başlamışken, yaşanan bu yeniliklerin ülkemizdeki etkileri aynı zaman diliminde görülmemiştir. Türk madencileri yaşanan gelişmeleri ülkemiz madenlerinde uygulama konusunda geç kalmış, alıştıkları

yöntemlerden ve uygulamalardan vazgeçmek istememiş ve geleneksel tahkimat anlayışını Avrupa'ya kıyasla yaklaşık 60 yıl daha fazla süredir devam ettirmiştir. Madencilğin riskli bir meslek olması sebebiyle özellikle yeraltı kazılarının desteklenmesi konusunda yeni fikirlerin kabul görmesi zaman almaktadır. 1990'lı yıllara ait madencilik literatürüne bakıldığında kaya saplamalarının o yıllarda halen Türk madenlerinde yaygınlaşmadığı, halen ülkemiz için yeni bir tahkimat/güçlendirme elemanı olarak bahsedildiği görülmektedir. Kullanımı gerekli olan ama günümüzde halen saplama kullanılmayan çok sayıda madenimiz mevcuttur. Bu satırların yazıldığı zaman diliminde Denizli ilinin Acıpayam ilçesinde bulunan bir krom madeninde yanlış ve ilkel tahkimat uygulamaları nedeni ile göçük yaşanmış ve iki kişi hayatını kaybetmiştir. Bu kazadan iki hafta önce Siirt'in Şirvan ilçesindeki bir bakır madeninde yaşanan başka bir göçük altında ise 3 madenci hayatını kaybetmiştir. Türkiye'de üç hafta içinde 5 madenci göçük altında kalarak can vermiştir. Ülkemizde halen çağdaş tahkimat-zemin etkileşimi konusu yeteri kadar anlaşılabilmiş değildir. Halen geçtiğimiz yüzyıl öncesinden kalma tahkimat anlayışı ile verimsiz ve güvensiz çalışma yapılan madenlerimizin sayısının azımsanmayacak kadar çok olduğunu söylemek mümkündür. Kaya kütlesini güçlendirmek, cidardaki konverjansları kontrol altına almak ve saplamaların birlikte etkileşimli çalışarak verimlerinin artırılması için kaya saplamalarının yeterli mukavemette ve kalınlıkta püskürtme beton ile birlikte kullanımı önem arz etmektedir. Püskürtme betonun keşfi kalıp vb. işlerin maliyetlerini ve zaman kaybını ortadan kaldırarak kısa sürede kaplama

yapılmasına ve kaya kütlesi deplasmanlarının kontrol edilmesine olanak sağlamıştır. 1920’li ve 30’lu yıllarda Avrupa ve Kuzey Amerika’daki tünel ve maden galerilerinde kullanımı popülerleşen püskürtme betonun 90’larda ülkemiz madenciliği için henüz yaygınlaşmamış bir malzeme olarak isminin geçtiği görülmektedir. Püskürtme betonun yük taşıma kapasitesini artırmak, gevrek malzeme özelliği azaltmak, düşük çekme mukavemeti ve enerji emme kapasitesi değerlerinde iyileştirme sağlamak ve çatlak ilerleme direncini artırmak için lif donatı katkı 1973 yılından beri kullanılmaktadır. Türkiye’de lif katkılı betonun 2000’li yılların başlarında yalnız çok sınırlı sayıda önemli tünel projelerinde ve büyük madenlerde görülmeye başlaması bu konuda da geç kaldığımızın bir göstergesi niteliğindedir. 2000 yılında Türkiye’de lif katkılı püskürtme beton sadece Bolu Tüneli inşaatında kullanılmış durumdaydı. Özetle, çağdaş tahkimat anlayışının etkileri ve bu alandaki yeni gelişmeler ülkemizde geriden gelerek takip edilmiştir. İnce püskürtme betona alternatif görece sağlam kaya kütlelerinde 1989 yılından itibaren Kanada, Avustralya, Güney Afrika, ABD gibi madencilikte ileri ülkelerin kullandığı polimer bazlı püskürtülen ince kaplamaların (PİK) ülkemizde henüz hiçbir madende sistematik olarak uygulanmadığını da burada not etmek gereklidir. Ayrıca, kaya kütlelerinin güçlendirilmesi için 1970’lerden bu yana geliştirilen polimer bazlı zemin enjeksiyonlarının madenlerimizde 2020’li yıllar dışında neredeyse hiç kullanılmadığı, hatta çoğu madenimizde bu malzemelerden 2010’larda haberbar bile olunmadığı da eklenmelidir. Madenciliğimize kıyasla tünelcilik uygulamalarımızda yeni nesil

enjeksiyon malzemeleri daha erken kullanıma girse de bu konuda da Avrupa'dan yaklaşık 30 yıl geride kalınmıştır. Yeraltı kazıları tahkimatı uygulamalarında devrimlerin yaşandığı Türkiye cumhuriyeti'nin ilk 100 yılı içinde madencilik ve tünellercilik uygulamalarımızda yeni gelişmelere yeterli ölçüde ve zamanında ayak uyduramadığımız görülmektedir. İlkel tahkimat anlayışını terk edemeyen madenlerimizde göçükler yaşanmaya devam etmektedir. Tüm bunların yanı sıra, çağa uygun modern madencilik yapan veya yapmaya çalışan yurtdışı merkezli ve yerli firmaların varlığı ülke madenciliğinin gelişmesine, emniyetli madencilik uygulamalarının gerçekleştirilmesine ve yanlış yaklaşımların terk edilmesi bağlamında madencilik anlayışımızın olumlu yönde değişmesine fayda sağlamaktadır. Yerli şirketlerimizin mutlaka gelişmiş madencilik ülkelerindeki yeni uygulamaları takip etmeleri, ziyaretlerde bulunmaları ve çalışanlarının teknik açıdan kendilerini geliştirmesine önem vermeleri gerekmektedir.

Ülkemiz sanayi devrimlerine ve yakın tarihteki mühendislik teknolojilerinde yaşanan ilerlemelere zamanında ayak uyduramasa da antik çağdan günümüze önemli bir madencilik ve kaya mühendisliği mirasına sahiptir. Bu konuda önemli bir örnek olan Hatay ilimizin Samandağ ilçesinde bulunan Titüs Tüneli hakkında kısa notlar sıradaki altbaşlık altında paylaşılacaktır. Şimdi yakın tarihten daha geçmişe giderek ülkemizin önemli bir kaya mühendisliği yapısına değinilecektir. Roma teknoloji ve mühendislik açısından döneminin en ileri gelen uygarlığıydı. Ülkemiz toprakları da Roma dönemi için

son derece önemli yerlerdi. Roma'nın Anadolu'daki en önemli şehirlerden birisi, tarihte ilk sistematik sokak aydınlatma uygulaması gerçekleştirilen şehir olan Antioch'tur (Antakya ilimizdir). Bugün Antakya ilimizin Samandağ ilçesi sınırları içerisinde bulunan Titüs Tüneli ülkemizin en önemli kaya mühendisliği miraslarından biridir.

### *2000 yaşında bir Mega Yapı: Titüs Tüneli*

Ülkemizde sahip olduğumuz ve hakettiği ilgiyi görmeyen pek çok antik yapıdan birisi de Roma İmparatorluğu dönemine ait, yaklaşık 2000 yaşında bir direnaj tüneli olan Titüs tünelidir. Çağının en önemli tünellerinden birisi olan Titüs tüneline bahsetmeden önce, tünelciliğin Roma dönemindeki büyük atılımından söz etmek doğru olacaktır. Roma İmparatorluğunun sahip olduğu büyük köle gücü ve hedefleri doğrultusunda günümüz koşullarında halen büyük ölçekli sayılabilecek tüneller kazılmıştır.

Yunanistan'da M.Ö. 6. yüzyılda tamamlanan, kesit alanı 3,5 metrekare dolaylarında değişen ve 1 kilometre uzunluğundaki Samos Eupalinos tüneline Yunan dünyasının 3 harikasından birisi arasında olduğu, sert kayalarda yapılan kazılar ile ancak ilerleme hızlarının bir aynada yılda 12-15 metre gibi çok düşük seviyelerde olduğu bir dönemden sonra Roma İmparatorluğunun 5 kilometre üzerinde uzunluğa sahip tünellerini kazılarını gerçekleştirmesindeki bir diğer etken de metalürjideki gelişmeler neticesinde daha iyi kazı yapabilen aletlerin üretilmesidir. Belki de en kısa ifade ile insanların birlikte

mutlu olabilme sanatı olarak özetlenebilen medeniyet tanımı içerisinde kölelerin hayatının hiçe sayılması hiçbir yere konamasa da, tarihteki önemli imparatorlukların medeniyetlerini ilerletmeleri açısından suya verdikleri önem Roma'da da fazlası ile görülmektedir. Roma İmparatorluğu içerisinde su işleri ile ilgili bir devlet kurumu bulunması sebebiyle su taşıma konusundaki bilgi birikimi imparatorluk sınırları içerisinde birbirinden çok uzak noktalara yansımış ve dönemin önemli tünel ustaları yetiştirilmiştir.

Bazı Roma İmparatorları ne pahasına olursa olsun büyük projelerin gerçekleşmesini sağlamışlardır. M.S. 41 ve 54 yılları arasında Roma İmparatoru olan Claudius, Roma şehrine yaklaşık 90 kilometre mesafede bulunan Fucino gölünün sularını tamamen direne etmek ve bu alanı verimli bir tarım arazisine çevirmek için 5.8 kilometre uzunluğunda, derinliği 120 metreye ulaşan bir tünel kazılmasını emretmiştir. Günümüzde halen tarım arazisi olarak kullanılan, İtalya'daki en verimli arazilerden birinin üzerinde 2000 yıl önce uzunluğu 18 kilometre, eni 11 kilometre olan bir göl vardı.

Roma imparatorluğunun pek çok sayıda önemli tünel ve su kanalları inşaatları olmuştur. Uzunluğu 1 kilometreyi bulan ve 30 metrekare dolaylarında kesit alanına sahip tünel kazılarını M.S. 2. yüzyılda bir mühendislik harikası olmaktan çıkarıp normal bir uygulama haline getiren Roma, madencilik faaliyetleri için de çağının en önemli örneklerini sergileyerek 200 metre derinliklere kadar yeraltı madenlerinde kazı yapmıştır.



Roma İmparatorluğunun pek çok önemli şehrine ev sahipliği yapan Anadolu'daki önemli Roma miraslarından biri Titüs tünelidir. Titüs tüneli ile ilgili gözlemlere geçilmeden önce, çağının mega yapılarından birinin neden Hatay ilinde bulunduğunu kısaca irdelemek iyi olacaktır. Hatay, eski adı ile Antioch, Roma devletinin bir dönem 3. en kalabalık şehri olacak kadar önemli bir merkezdi. Antioch Büyük İskender tarafından kurulmuş ve Roma tarafından alındıktan sonra önemini hız kesmeden artırmış, eyelet başkentliği yapmış şehirdir. Aynı zamanda, Dünya'da meşalelerle düzenli olarak aydınlatılan ilk sütunlu cadde, Herod Caddesi de (günümüzde Kurtuluş Caddesi) Antakya'dadır. "Antioch" ismi Batı tarihinde o kadar önemlidir ki Amerika Birleşik Devletleri'nde İllinois, Kaliforniya, Ohio eyaletlerinde bu isimde yerleşim yerleri vardır. Antioch henüz Selevkos başkentine ve ardından büyük bir Roma şehrine dönüşmeden önce bölgenin en önemli ticaret merkezi Hatay ilinin Samandağ ilçesi içerisinde kalan, eski adı "Seleukeia Pieria" olan bir liman kentidir. "Seleukeia Pieria" Büyük İskender'in Generali ve Büyük İskender'in vefatından sonra Selevkos İmparatorluğu'nun ilk hükümdarı olan I. Seleucus tarafından kurulmuştur. M.Ö. 4. yüzyılda kurulan "Seleukeia Pieria" şehri ticaret konusunda hızla ilerlemiş ve Doğu Akdeniz'in en önemli liman şehirlerinden birisi olmuştur. Selevkos İmparatorluğu İskender'in İmparatorluğunun coğrafyasında ve İskender'in kumandanları tarafından kurulan devletler arasında en büyük toprağa sahip olmandır. Seleukeia Pieria ise bu devletin gözde bir liman şehridir. Ancak, seller nedeni ile birçok kez limanı çamur ile dolmuş ve ticareti olumsuz yönde etkilenmiştir. Kent Roma kontrolüne geçtikten sonra

bayındırlık işleri açısından ilerleme gösterilmiş ve birçok önemli yapı inşaa edilmiştir.

Titüs tüneli, Seleukeia Pieria isimli bu antik kentin dağ yamaçlarından gelen sular altında kalmasını engellemek için bir drenaj tüneli olarak kazılmıştır. Roma İmparatoru Vespasian (MS.69–79) tarafından başlatılan tünel kazıları, oğlu İmparator Titus (MS.79–81) döneminde büyük ölçüde tamamlanmıştır. Ancak, burada çalışan pek çok köle Roma kentinde bulunan meşhur “Colloseum” un inşaatı için transfer edilmiştir ve tünel inşaatının tamamlanması gecikmiştir. Tünel kazıları bir süre Roma askerleri ve denizciler tarafından devam ettirilmiş ve Titüs zamanındaki kazı hızına nazaran oldukça yavaş ilerleyerek diğer bir Roma İmparatoru Antonius Pius zamanında tamamlanmıştır. Titüs tüneli kazısındaki aksamalar açısından Roma İmparatorluğunun sınırlarını genişletmesi için yaptığı savaşlar da önemli yer tutmuş olmalıdır. Titüs tüneli kazısı şehrin yukarı kısmından başlamış ve denize doğru ilerlemiştir. Bu konudaki bilgiye tünel duvarlarındaki açıklamalardan da ulaşılmaktadır. Titus tüneli kapalı bölümü 130 metre olmak üzere açık (kanal) kısımları ile beraber 1380 metre uzunluğundadır. Yaklaşık 2000 yaşındaki, Titüs tünelinin kesit alanı ortalama 45 metrekare dolaylarında olup, çok değişken olan açık (kanal) kısımlarının kesiti ise yer yer 100 metrekare üzerindedir. Kireçtaşı içerisinde kazılan Titüs tünelinin derinliği 50 metreyi bulmaktadır. Güzergah boyunca topografyaya bağlı açık kısımların yer yer derinleşmesi neticesinde üç adet tünel kazısı yapılmıştır.

Titüs tüneli sadece şehri tehdit eden sel sularını direne etmek için değil, Tünel içerisindeki yan duvalara komşu kazılan küçük su kanalları ve yer yer kesitin genişletilmesi ile oluşturulan su havuzları ile aynı zamanda sıcak yaz aylarında şehrin su ihtiyacını karşılamak amaçlı da kazılmıştır. Roma'nın su kontrolü üzerindeki eşsiz mühendisliği Titüs tüneline açıkça görülmekte olup, tünel girişinde ve güzergahı içerisinde yer yer halkın zaman geçirmek için kullandığı alanlar da mevcuttur.

Titüs tüneli tabanında biriken farklı boyutlarda bloklar olduğu ve sığ bir su akıntısının devam ettiği görülmüştür. Mevsimsel olarak artış gösteren tabandaki su akıntısı, su akıntısı ile taşınan malzemeler, ayrıca tünelin açık kısımlarında kesit üzerinden (yüzeyden) düşen zemin malzemesi tarihi tünelin gezisi için zorluklara ve güvenlik sorunlarına yol açmaktadır. Tünel içinde aydınlatma olmaması ve turistler için yürüyüş yollarının bulunmaması nedeni ile yer yer derinleşen su içerisinde yürünmesi gerekmektedir. Ayrıca, tünel içerisinde su akışını artıran, su geliri olan kısımların da mevcut olduğu görülmüştür. Bu konuda, duraylılık üzerindeki etkileri de incelenerek enjeksiyon uygulaması ile su geliri kesilebilecektir. Güzergah boyunca sahil tarafına yakın, açık kazı yapılan (kanal) bazı kısımlar dışında az çatlaklı bir kaya kütlesi içerisinde kazının gerçekleştiği görülmüştür. Ancak, tünel tavanından düşen büyük boyutlu blokların olduğu gözlenmiş ve bu blokların su akışı ile önemli ölçüde aşınmış olmaları nedeni ile uzun süre önce duraysızlık yaşamış oldukları sonucuna varılmıştır. Yapısal kontrollü duraysızlık riski bulunan

blokların varlığı gözlemlenmiş olup, bu blokların kaya saplamaları ile sağlam zemine bağlanmaları ve öncesinde tünelin iyi bir aydınlatma ile tetkik edilmesi gereklidir. Ek olarak, kaya kütlesi özelliklerinin belirlenmesi için karot çalışmalarının gerçekleştirilmesi önerilmektedir.

Tarihi değer taşıyan tünel cidarındaki eski dönem kazı izlerinin kaybolmaması için kimyasal bozulmanın önlenmesi amaçlı tedbirlerin alınması önemlidir. Titüs tüneli devamında bulunan kaya mezarlarında kimyasal ve fiziksel bozulmanın ileri derecede olduğu görülmüştür. 2014 yılı gerçekleştirilen bir gezi kapsamında, tarihi Titüs tüneli için güvenlik önlemleri alınmaması, aydınlatma olmaması ve tünel içi yürüyüş yollarının belirlenmemesi gibi eksikliklerin olduğu görülmüştür. İnşa edildiği tarih ve boyutları düşünüldüğünde benzer örnekleri ile kıyasla tanıtımı açısından önemli çalışmaların yapılmasına gerek olan, ancak UNESCO Dünya mirasları arasına girmek üzere aday listesine girmiş bulunan Titüs tüneline ilginin ve turist sayısının son yıllardaki artışı tünel için yapılacak çalışmalar açısından umut vericidir.

Titüs tünelinin benzer örneklerinin uluslararası ölçüde iyi tanıtımının yapılmış olması, ülkemizdeki tarihi eserlerimize olan ilgi eksikliğini gözler önüne sermektedir. Topraklarımızda yaşayan tüm uygarlıklardan günümüze gelen tarih mirasımızı korumak, bugün gibi gerçek olan tarihi geleceğe aktarabilmek biz mühendislerin de önemli görevlerinden olmalıdır.

## **5. Kaya Mühendislerini Yetiştiren Bölümlerin Kuruluş Tarihçeleri**

Maden mühendisliği, jeoloji mühendisliği, inşaat mühendisliği bölümleri kaya mühendislerini yetiştiren başlıca bölümlerdir. Bu bölümler arasında zorunlu dersler kapsamında kaya mekaniği eğitimi veren bölümler maden mühendisliği ve jeoloji mühendisliği bölümleridir. Bunun yanısıra, inşaat mühendisliği bölümlerinin genelinde kaya mekaniği seçmeli ders olarak okutulmaktadır. İnşaat mühendislerinin çalışma alanları düşünüldüğünde kaya mekaniği derslerinin tüm inşaat mühendisliği bölümlerinde zorunlu ders haline getirilmesi gerekmektedir. Burda ismi geçenler arasından ilk olarak maden mühendisliği bölümlerinin kuruluş tarihçelerine değinilerek başlanacaktır. Mühendislik bölümlerinin üniversitelerde kuruluşlarını incelemek için, öncelikle üniversitelerin ve günümüzdeki hali ile akademinin tarihine değinmek doğru olacaktır. Antikçağ'dan gelen pedagoji geleneği, kiliseden bağımsız içerikte seküler eğitim verebilme gayreti XI. yüzyılın sonlarında özellikle İtalya ve Fransa'da canlanmıştır. Evrensel değerler taşıyan bilim öğrencilerini yetiştirmek amaçlı kurulan üniversiteler ağı ilerleyen yıllarda Avrupa'da büyük ölçüde genişlemiştir. Üniversitelerin yaygınlaşması ile manastır okulları kaybolmamış ancak ikinci planda kalmıştır (Üniversiteler kurulana kadar Avrupa'da eğitim manastır okullarının elindeydi). Bu durum öğretim ve eğitim dünyasında tek elini ilan etmiş olan kiliseyi endişelendirmiştir ve "licendia docendi" denilen sistem devreye girmiştir. Bu sisteme göre özel okul açmak için piskoposluk tarafından

“eğitim ve öğretim” izni gerekir hale gelmiştir. Bu sistem kilisenin aslında seküler yeni üniversiteler karşısında ikinci plana düşüyor olduğunun göstergesiydi.

Manastır okullarında Fen eğitimi skolastik anlayış ile yapılıyor, Hristiyanlık dünyasında büyük tartışma ve sancılar sonucunda kutsallaştırılan Aristoteles gibi antik yunan ve bazı Müslüman bilim adamlarının öğretilerine yer veriliyor ve yeni bilgi çok kısıtlı seviyelerde üretilebiliyordu. Bu dönemde Aristoteles ve bazı diğer antik filozoflar daha da kutsallaştırıldıkça, onların öğretilerine karşı çıkmak ve tartışmak oldukça zorlaşıyordu. Bu sebeple, bağımsız bilim yapmaya çalışan kurumların işi büyük bilimsel devrimin yaşanacağı 17. yüzyıla kadar oldukça zordu. Özellikle, 17. yüzyılın ikinci yarısı kilisenin bilim adamları üzerindeki etkilerinin önemli oranda kırılmaya başladığı dönem olmuştur. Aslında, belli kesimlerce Aristoteles gibi Antik dönem filozoflarının Hristiyanlık eğitimi içerisinde kabul görmesi ve saygın bir yere konulması karşısında da bir süre direnç gösterilmişti. Ancak, 14. yüzyılda Aristoteles ve birçok diğer Antik çağ düşünürleri kilise tarafından onaylanmıştı.

Kilise üniversitelerin müfredatlarına ve ders içeriklerine de önemli ölçüde karışmış ve pek çok zaman çeşitli dersler yasaklanmıştı. 14. yüzyıla girerken Avrupa’da on üç adet üniversite vardı. İtalya, Fransa ve İngiltere’dekilere Orta Avrupa’dan eklenen yeni üniversiteler ile birlikte 14. yüzyılın son çeyreğinde bu sayı otuza yükselmiştir. 15. yüzyıl boyunca üniversitelerin sayısında artış devam etmiş ve yüzyıl

sonuna gelindiğinde Avrupa'nın büyük bölümüne yayılmış olan 65 adet üniversite mevcut hale gelmiştir.

Ortaçağ Avrupası'nda en saygın üniversiteler İtalya ve Fransa'da bulunmaktaydı. Çok sayıda ve farklı ülkede üniversiteler açılmış olsa da iyi üniversitelerde okumak için İtalya ve Fransa'ya göçler vardı. Buna karşılık, İngilizlerin Oxford ve Cambridge Üniversiteleri vardı ve İngilizler çoğunlukla kendi üniversitelerinde okumayı tercih ediyorlardı. İtalyanlar ise kendi ülkelerinin dışına çıkacaklar ise Alplerin kuzeyine genelde okumak için gitmiyordu. Bu durumdan da anlaşılacağı üzere, İtalya ve İngiltere Ortaçağda birbirinden bağımsız olarak farklı üniversite ekollerine sahiptiler. Ancak, benzer olan bir şey vardı ki o da o dönemde üniversitelerin Latince eğitim yapması olmuştur. Bilim dili latince olmakla kalmamış, bilim insanlarının isimleri bile latince olmuş, kendi isimlerine ek olarak latince isimler almışlardır. O çağda latince öğrenmek bilim yapmanın ilk kuralıydı.

Ortaçağ üniversitelerinde genellikle soylu öğrenciler bulunmamıştır, çünkü bu dönemde üniversitenin önemi ve faydaları soylular tarafından yeteri kadar anlaşılammış ve belki de üniversiteler pek çok soylu aile tarafından hafife alınmıştı. Ortaçağ üniversitelerinde yoksul öğrenciler de çok azınlıktaydı, çünkü eğitim paralıydı ve maliyetler yoksul aileler tarafından karşılanamamaktaydı. Bu sebeple, Ortaçağ üniversitelerinde genelde orta gelir seviyesine sahip veya soylu ailelerden olmayan ama ekonomik durumu iyi sayılabilecek kişilerin çocukları eğitim görmekteydi. Eğitim sosyal bir ilerleme yoluydu ve üniversitelerden alınan diplomalar her zaman yüksek gelirler

getirmese de en azından daha güvenli ve daha saygın görevler bulmanın yolunu açıyordu. Eğitim ve öğretim aracılığı ile kazanılan bilgi bireyin tüm meslek yaşamı boyunca satabileceği sosyal bir sermaye oluyordu.

Ortaçağ'da üniversitelerde mühendislik eğitimi verilmiyor ve tıp harici fen eğitimi ise çok kısıtlı kalıyordu. Daha çok felsefe, sosyal bilimler, tıp, hukuk, ilahiyat, dil bilimleri, astronomi ve çeşitli sanatların eğitimi veriliyordu. Üniversite eğitimi ve mühendislik birbirinden çok kopuktu ve dönemin mühendisleri, ustaları üniversitelerde yetişmiyordu. Mühendislik için önemli olan fizik eğitimi ise deneyden uzak, son derece teorik olarak yapılmaktaydı. Bu sebeple, üniversiteler bu dönemde henüz mühendislik eğitimi verebilen kurumlar olmamışlardır. Bu durum üniversitelerden bağımsız mesleki eğitim vermek üzere okulların kurulması ihtiyacını doğurmuştur. Bu okullar daha sonra üniversiteye bağlanacak ve günümüzdeki sisteme yakın bir düzende olacaktır.

15. yüzyılda, siyasi iktidarlar üniversiteler üzerindeki etkilerini artırıyordu ve öğrenci sayılarının artması sebebi ile üniversiteleri daha çok önemsemeye başlıyordu. Amerika'da boy gösteren kolonilerin etkisi ile üniversiteler nihayet Avrupa dışında da 16. yüzyılda kurulmaya başlamıştı. Ancak, özellikle Latin Amerika'da kurulan bu ilk Güney Amerikanın üniversite örnekleri fazlasıyla kiliseye bağlı ve kiliselerin denetiminde eğitimlerini sürdürmekteydiler. Amerika kıtasında daha bağımsız ve bilime hizmet odaklı üniversiteler daha çok Kuzey Amerika'da 17. yüzyılda kurulmaya başlamıştı. 18. yüzyıl



ortalarında ABD’de üniversite sayısı dokuz olmuştı. Ancak, halen teknik mesleki eğitim devrimi üniversitelerde yaşanmamıştı.

18. yüzyıl sonları geldiğinde, üniversitelerde okuyan zengin ve soylu sınıftan öğrencilerin oranı önceki dönemlere nazaran oldukça artmıştı. Pek çok üniversitede, zenginlerin kalabalık bir nüfus oluşturduğu görülmekteydi. Bu durum, 18. yüzyıl sonlarına gelindiğinde artık zengin ve soylu kesimin de üniversite eğitiminin gerekliliğine inandığını ortaya koymaktadır. 18. yüzyıl, bir önceki yüzyılda yaşanan bilimsel devrimin sonucu olarak üniversite eğitim müfredatında önemli değişikliklerin yaşandığı bir süreci başlatmıştır. Antik çağ düşünürlerinin doğa felsefesi bilgilerinin değişmez kanunlar olarak anlatıldığı skolastik dönem üniversitesi anlayışından çıkılması ve üniversitelerin bilimsel yaklaşımlar ile bilgi üreten ve öğreten kurumlar haline gelişi genel olarak 17. yüzyılın ikinci yarısında gerçekleşmiştir. Üniversiteler çoğunlukla 17. yüzyıl sonlarına kadar modası geçmiş, eski ortaçağ otoritelerine (Fizikte Aristoteles, Tıpta Hipokrat ve Galen gibi) dayanan eğitim vermekteydiler, bilgi üretmek yerine eski otoritelerin bilgilerini değişime kapalı muhafaza etmekteydiler.

Avrupa’nın aydınlanma hareketleri neticesinde 18. yüzyıl başlarında özellikle protestan ülkelerde “bilim sadece latince öğretilir” anlayışından çıkılmış ve Almanya’da, İskoçya ve İskandinavya’da üniversiteler ülkelerin kendi dillerinde eğitim yapmaya başlamışlardır. Katolik ülkeler ise ilk etapta bu duruma karşı durdular ve üniversitelerinde latince eğitime devam ettiler. Ancak, onlar da zaman

içerisinde kalıpları yıkmayı başarabildiler. Ortaçağ anlayışından çıkılarak ders içeriklerinin değiştirilmesi ve 17. yüzyılda başlayan üniversitelerdeki reformlar neticesinde 18. yüzyıla gelindiğinde üniversitelerin kimlikleri değiştiği görülmektedir. Artık, üniversiteler bilgiyi muhafaza eden ve aktaran kurumlar olmaktan çıkarak, deneye bağlı bilimsel yaklaşımlarla bilgi üreten kurumlar halini aldılar. Ancak, 18. yüzyılda yeni bilim disiplinlerinin kurulması ve Fen Bilimleri alanında çok sayıda buluşun yapılmasına karşın, üniversitelerde sektörel arayışa cevap verebilecek teknik kadroları yetiştiren mühendislik bölümleri henüz mevcut değildi.

Bilimin amacını temel olarak iki başlık altında incelemek mümkündür. Bunlardan ilki, dünyayı ve evreni anlama isteği, ikincisi ise insanların hayatlarını iyileştirmek amaçlı bilimi kullanma eğilimleridir. 19. yüzyıla kadar genelde dünyayı ve evreni anlama isteği (ilk neden) merkezli bir üniversite yapısı olmuştur. Bu sebeple, 18. yüzyılda Avrupa'da birçok önemli meslek okulları açılmış olsa da, bunlar çoğunlukla üniversitelerden bağımsız olarak kurulmuşlardır. 18. yüzyılda üniversiteler mesleklerin ihtiyaç duyduğu ve pratik bilgiler ile donatılmış teknik personelin yetiştirilmesi konusunda görev almaktan çok uzaktı. Devletler ve meslekler üniversite diplomalarının bir yeteneğin garantisi olmadığı konusunda bilinçlenmişlerdi.

Mesleki eğitim konusunda üniversitelerin reform yaşaması açısından öncülük yapan kurumlar çoğunlukla Alman üniversiteleri olmuşlardır. Diğer ülkelerde meslek okulları üniversite dışında kurulurken,

Almanya’da mesleki eğitimini üniversitelere bağlı verme gayreti gösterilmiş ve bunun neticesinde yeni kürsüler kurulmuştur. Üniversitelerin hantal karakteristikleri sebebi ile Avrupa’da üniversitelerden bağımsız olarak kurulan çeşitli meslek okullarının madencilik alanındaki ilk örnekleri Rusya’da kurulan St. Petesburg Madencilik okulu (kuruluş: 1773), Fransa’da kurulan Ecole des Mines’tır (Kuruluş: 1783). Bunları takiben İngiltere’de kurulan “Royal School of Mines” (1851), Camborne School of Mines (Kuruluş: 1888), ABD’de bulunan Colorado School of Mines (1874), Güney Afrika Kimberley’de kurulan Güney Afrika Madencilik okulu (Kuruluş: 1896) ve Avustralya’nın ilk madencilik okulu olan Batı Avustralya Madencilik Okulu (Kuruluş: 1902) öncü kuruluşlardan olmuştur. Güney Afrika ve Avustralya gibi ülkeler ilk madencilik okulunu üniversitelerden bağımsız kurarken, bir diğer eski Britanya’ya bağlı önemli madencilik ülkesi olan Kanada’da ise ilk maden mühendisliği eğitimi üniversiteye (McGill Üniversitesi) bağlı olarak 1870 yılında başlatılmıştır. Bu durum, Kanada’da üniversitelerin mesleki eğitim konusundaki yenilikçi anlayışını göstermektedir.

Gerçek anlamda meslek okullarının kurulması modern çağın özelliklerindedir. İnsanlar mesleki hayatlarında kullanışlı bilgiler öğrenmeyi tercih ederek, eski çağ formasyonlarını içeren okullar yerine mesleki bilgiler öğreten okullarda okumaya başlamışlardır. Avrupa’da 19. yüzyılda teknik mesleki eğitim veren okullara ilgi önemli ölçüde artmıştır. Örneğin, Alman üniversitelerinde 19.

yüzyılın son çeyreğinde teknisyenlik ve mühendislik bölümlerinde/kürsülerinde okuyan öğrencilerin sayısı hukuk, sosyal bilimlere ait bölümler, dil eğitimi veren bölümler ve ilahiyat gibi bölümlere kıyasla daha yüksek seviyelere ulaşmıştır.

Özellikle sanayi devriminin etkileri ile birlikte üniversitelerin teknik eğitim veren, mühendis yetiştiren kurumlar olmaları ve bilimi sadece dünyayı daha iyi anlamak amaçlı değil, insanların hayatlarını iyileştirmek, refah seviyesini artırmak amaçlı yapma anlayışı önemli bir reform gerçekleştirmiştir. Daha öncesinde akademiden kopuk olan teknoloji geliştiren ustalar, alet ve makine yapıcıları, madenciler, inşaatçılar vb. meslek grupları 19. yüzyılda üniversiteler ile birlikte ortak kültür geliştirmeye başlamışlardı. Üniversitelerin güncel sorunlardan uzak olan eskiçağ kalıplarından çıkarak 19. yüzyılda endüstri ile birleşmeye başlamaları, üniversiteler tarihinde önemli bir devrimdir. Bu devrim ile, öncesinde üniversite dışındaki kişiler tarafından sağlanmış olan endüstrileşme akademiden katkılar ile hız kazanmıştır.

20. yüzyıl başlarındaki bazı örnekler dışında Avrupa ve Amerika'da artık mühendis yetiştiren bölümler üniversitelere bağlı olarak kurulmuştur. Üniversitelerden bağımsız kurulan meslek okulları da zaman içerisinde üniversitelere bağlanmıştır. 19. yüzyıldaki modernleşme atılımları neticesinde 20. yüzyıl başlarında üniversitelerin mesleki eğitim verme anlamında devrimi tamamlamış olduğunu söylemek mümkündür.

Türkiye'nin ilk Maden (Yüksek) Mühendisi Paris'teki Ecole des Mines okulundan mezun olan İbrahim Ethem Paşa'dır. Kendisi, nazır ve sadrazam olarak önemli devlet görevlerinde bulunan ilk Maden mühendisi olarak 1872 yılında "Orman ve Maadin Mektebi" 'ni kurmuştur. Bu okul kuruluşunun ardından kısa süre içinde kapandıktan sonra 1924 yılına kadar ülkemizde maden mühendisi yetiştiren bir kurum olmamıştır. Cumhuriyetin kurulmasının hemen ardından, 1924'te "Yüksek Maden ve Sanayi Mektebi" adı ile Zonguldak'ta yeni bir okul açılmıştır. Bu okulda eğitimini tamamlayan ve ülkemizin dört bir yanında görev alan ilk mezunlar, cumhuriyetimizin madencilik sektörünün ilk kurucuları olmuşlardır.

Cumhuriyetimizde maden mühendisi ihtiyacının karşılanması için, 1935'te Maden Tetkik ve Arama (MTA) Enstitüsü kuruluşundan sonra yurtdışına öğrenciler gönderilmiştir. Bu öğrenciler 1940'larda ve sonra yurda döndüklerinde hocalık yapmışlar ve çeşitli madencilik kuruluşlarında önemli görevler almışlardır. MTA tarafından Zonguldak'taki eski "Yüksek Maden ve Sanayi Mektebi" meslek okulu olarak çalıştırılmaya devam ettirilmiş, 1951 yılına gelindiğinde ise Milli Eğitim Bakanlığı'na devredilerek "Zonguldak Maden Teknik Okulu" adını almıştır. Bu okul İstanbul'a taşınana kadar Zonguldak'ta aralıklarla ve değişikliklerle faaliyetini sürdürmüş ve 1962'de öğrencileri ile birlikte İTÜ Maçka Teknik Okulu'na bağlanmıştır. Böylece, madencilik okullarının akademiye bağlanması ve ülkemizde üniversite tarafından akademik anlamda Maden Mühendisliği eğitiminin verilmesi konusunda İstanbul Teknik Üniversitesi öncülük

yapmıştır. 1924 yılında kurulan bir okulun devamı olması ile İTÜ Maden Mühendisliği Bölümü ülkemizin en eski Madencilik eğitimi veren kuruluşu olarak görülebilir. Ayrıca, “Yüksek Maden ve Sanayi mektebi” bağlanmadan önce de, 1953 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü eğitim hayatına başlamıştı. 1960 yılında kurulan Ortadoğu Teknik Üniversitesi Maden Mühendisliği bölümü ise ülkemizde bir üniversite bünyesinde kurulan ikinci maden mühendisliği bölümü olma özelliğine sahiptir. Yine 1960’lı yıllarda Maden Mühendisliği eğitimine başlayan bir diğer üniversitemiz de Hacettepe Üniversitesi olmuştur. Böylelikle, 1960’lı yıllarda üç adet maden mühendisliği bölümüne sahip olunarak ülkemiz madencilik eğitimi tarihinde önemli bir ilerleme kaydedilmiştir.

1960’lı yıllarda ülkemizde Jeoloji bölümü veya anabilimdalına sahip üniversitelerimiz ise İstanbul Üniversitesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara Üniversitesi, Ortadoğu Teknik Üniversitesi ve Ege Üniversitesidir. Ege Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü sonra Dokuz Eylül Üniversitesi’ne bağlanmıştır. Ülkemizde Jeoloji eğitimine ilk başlayan kurum Osmanlı döneminin tek üniversitesi olan ve bugün İstanbul Üniversitesi’ne dönüştürülmüş olan Darülfunun’dur. Darülfunun bünyesinde 1909 yılında jeoloji dersleri verilmeye başlanmış, 1915 yılında ise jeoloji bölümü kurulmuştur. 1933 yılında İstanbul Üniversitesi bünyesinde eğitime devam eden jeoloji bölümü 1964 yılında jeoloji mühendisliği bölümü ismini

almıştır. İstanbul Teknik Üniversitesi'nde İnşaat fakültesi bünyesinde 1944 yılında, Maden Fakültesi bünyesinde 1953 yılında Jeoloji dersleri verilmeye başlanmıştır. İTÜ Jeoloji mühendisliği bölümü kuruluşu ise 1961 yılında Maden Fakültesi bünyesinde gerçekleşmiştir. 1946 yılında Ankara Üniversitesi'ne bağlanan ve 1943 yılı kurulan Fen Fakültesi bünyesinde Jeoloji kürsüsü mevcuttu. 1965 yılında yine Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi'ne bağlı bir bölüm olarak Jeoloji bölümü kurulmuştur. Anabilim dalından bölüm statüsüne 1965 yılında geçen bölüm 1972 yılında Jeoloji mühendisliği bölümü şeklinde yapılandırılmıştır. Karadeniz Teknik Üniversitesi'nde Jeoloji Bölümü Temel Bilimler Fakültesi bünyesinde 1965 yılında kurulmuştur. KTÜ 1973 yılında yerbilimleri fakültesini kurmuş, önce jeoloji ismi ile açılan bölümü jeoloji mühendisliği bölümü ismi ile bu fakülte bünyesine taşımıştır. KTÜ jeoloji mühendisliği bölümü 1982 yılında mühendislik ve mimarlık fakültesi bünyesine dahil olmuştur. Hacettepe Üniversitesi jeoloji mühendisliği bölümünü 1968 yılında kurmuştur. Türkiye'de jeoloji veya jeoloji mühendisliği ismi ile kurulan bölümlerin beşincisi olmuştur. Hacettepe de İTÜ gibi bölümü ilk açarken jeoloji mühendisliği olarak açmış, diğer üniversiteler ise bir temel bilim bölümü olarak önce jeoloji bölümlerini kurmuş ve sonrasında mühendislik bölümlerine dönüştürmüşlerdir. ODTÜ de bölümü ilk kurduğunda jeoloji mühendisliği ismini kullanmıştır, ancak ODTÜ'de kuruluş tarihçesi bir parça daha karışıktır. İlk olarak 1962 yılında alınan bir karara göre maden mühendisliği bünyesinde seçilen derslere bağlı bir opsiyon olarak "Maden Jeolojisi Mühendisi" ünvanı ile mezun verilme yoluna

gidilmiş, bu opsiyon ismi 1969 yılında “Jeoloji mühendisliği” olarak değiştirilmiştir. Burada jeolog hocalarca maden mühendisliği bünyesinde dersler işlenmiş ancak mezuniyette “jeoloji mühendisi” ünvanı verilmiştir. 1971 yılında ise ODTÜ’de maden mühendisliği bölümünden ayrılma bir bölüm olarak jeoloji mühendisliği bölümü kurulmuştur. Ege Üniversitesi’nde 1961 yılında Fen Fakültesi bünyesinde Jeoloji anabilim dalı kurulmuştur. Daha sonra, 1975 yılında Ege Üniversitesi Yerbilimleri Fakültesi bünyesinde jeoloji mühendisliği bölümü açılmış ve bu bölüm 1982 yılında kurulan Dokuz Eylül Üniversitesi’nin mühendislik fakültesine bağlanmıştır.

İnşaat mühendisliği bölümleri genellikle kaya mekaniği dersleri vermediği için kaya mühendisi yetiştiren bir bölüm olmaktan çok mezunlarının kaya mühendisliği uygulamalarında iş bularak kendini geliştirebildiği bir bölüm olduğu söylenebilir. İnşaat mühendisleri çalışma alanı olarak kaya mekaniği prensiplerinin kullanıldığı çok farklı çalışma alanlarında iş bulabilmektedirler. Örneğin, tünel inşaatlarında, baraj inşaatlarında, kaya üzerine oturan ayak ve temellerin inşaatlarında, kaya şev kazılarında, kaya kütleleri için istinat yapıları inşaatlarında ve diğer kaya mühendisliği faaliyet alanlarında çalışabilmektedirler. Bu sebeple, inşaat mühendisliği bölümlerinde mutlaka zorunlu dersler arasında kaya mekaniği dersi de yer almalıdır. İnşaat mühendisliği eğitiminde kaya mekaniği dersi en az zemin mekaniği dersi kadar önemsenmelidir. Ülkemizde ilk inşaat mühendisliği bölümü İstanbul Teknik Üniversitesi’ne bağlıdır. 1960’lı yıllarda bünyesinde inşaat mühendisliği bölümü olan dört



üniversitemiz mevcuttur. Bu üniversiteler İstanbul Teknik Üniversitesi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Karadeniz Teknik Üniversitesi ve Ege Üniversiteleridir. Bu üniversiteler dışında 1960'lı yıllarda üniversite olmamış ancak kuruluşları sonrasında bünyelerine 60'lı yıllarda inşaat mühendisliği eğitimi veren devlet mühendislik ve mimarlık akademilerinin bağlandığı üniversiteler olmuştur. Bu üniversiteler ise Yıldız Teknik Üniversitesi, Gazi Üniversitesi ve Fırat Üniversitesi'dir. 1960'ların hemen ardından 1970 yılında Eskişehir Devlet Mühendislik ve Mimarlık Akademisi eğitim hayatına başlamış ve bu kuruma bağlı inşaat mühendisliği bölümü daha sonra sırasıyla Anadolu Üniversitesi İnşaat mühendisliği ve Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümüne dönüşmüştür. Yine 1970 yılında Konya Devlet Mühendislik ve Mimarlık Akademisi bünyesinde inşaat mühendisliği eğitim vermeye başlamış, bu bölüm daha sonra Selçuk Üniversitesi'ne bağlanmış ve ardından 2018 yılında kurulan Konya Teknik Üniversitesi bünyesine geçirilmiştir. Adana İktisadi ve Ticari İlimler akademisi bünyesinde bulunan inşaat mühendisliği bölümü ise 1960'lı yıllarda öğrenci almaya başlamıştır. 1968 yılında kurulan Zonguldak Devlet Mühendislik ve Mimarlık Akademisinin kuruluş yasasında inşaat mühendisliği bölümü de mevcuttur. İnşaat bölümüne öğrenci almayı öngörerek kurulmuş Zonguldak Mühendislik ve Mimarlık Akademisi 1975 yılında ilk öğrencilerini maden ve makine mühendisliklerine almıştır. İnşaat mühendisliği bölümüne bu akademi bünyesinde öğrenci alınmamıştır. Öncelik alanlarının en başında inşaat mühendisliği bölümü olan Karadeniz Teknik Üniversitesi de 1955 yılında kurulmasına rağmen

ilk öğrencilerini 1963 yılında almaya başlayabilmiştir. Karadeniz Teknik Üniversitesi'nin ilk eğitime başlayan iki bölümü inşaat mühendisliği ve mimarlıktır. İTÜ Osmanlı'dan günümüze inşaat mühendisliği eğitimi veren tek kurumdur. Bugünkü anlamda sivil inşaat mühendislik eğitimine 1883 yılında Hendese-i Mülkiye'nin kurulmasıyla başlanmıştır. 1909 yılında okul Nafia Vekaleti'ne (Bayındırlık Bakanlığı'na) bağlanarak Mühendis Mekteb-i Alisi adını almıştır. Bu kurum 1928 yılında Yüksek Mühendis Mektebi, 1941'de Yüksek Mühendis Okulu adını almıştır. 1944 yılında adı İstanbul Teknik Üniversitesi'ne dönüşmüştür. Bu aşamadan sonra bölüm İTÜ bünyesine faaliyetlerine devam etmiştir. İTÜ ilk yıllarında İnşaat, Mimarlık, Makine ve Elektrik Fakülteleri olmak üzere dört fakülteden oluşmuştur. Ortadoğu Teknik Üniversitesi ülkemizde inşaat mühendisi yetiştiren ikinci üniversite olarak 1957 yılında eğitime başlamıştır. Ege Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümü 1968 yılında öğrenci almaya başlamıştır. Ege Üniversitesi inşaat mühendisliği bölümü 1982 yılında yeni kurulan Dokuz Eylül Üniversitesi'ne bağlanmıştır. Yıldız Teknik Üniversitesi eğitime 1911 yılında "Kondüktör Mektebi Alisi" ismi ile başlamıştır. Mühendis yetiştirmek için değil, daha çok ara eleman, teknisyen, tekniker yetiştiren bir kuruluş olarak Osmanlı dönemi eğitim hayatına devam etmiştir. 1923'ten sonra "Nafia Fen Mektebi" adı altında eğitime devam etmiş ve adı 1937'de İstanbul Teknik Okulu, 1969'da İstanbul Devlet Mühendislik ve Mimarlık Akademisi olmuştur. Bu akademi bünyesinde eğitim veren inşaat mühendisliği bölümü 1982'de kurulan Yıldız Üniversitesi İnşaat mühendisliği bölümüne dönüşmüş ve son

olarak bölümün bağlı olduğu üniversite 1992'de Yıldız Teknik Üniversitesi olarak isim değiştirmiştir. 1982 yılında kurulan Gazi Üniversitesi bünyesindeki inşaat mühendisliği bölümü ise Ankara Devlet Mühendislik ve Mimarlık Akademisi bünyesinde 60'lı yıllarda eğitime başlamıştır. Fırat Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümü 1967 yılında Elazığ Devlet Mühendislik ve Mimarlık Akademisi bünyesinde kurulmuş ve 1975 yılında o sene yeni kurulan Fırat Üniversitesi'ne bağlanmıştır. Elazığ'da 60'lı yıllarda mühendislik akademisinin kurulmuş olması, bu kapsamda öncelik verilmesi altında yatan en büyük sebep Atatürk Üniversitesi'nin Erzurum'a kurulmasıdır. Atatürk Üniversitesi 1957 yılında Erzurum'da kurulmadan önce ikinci en güçlü aday olarak Elazığ şehri görülüyordu. Hatta Doğu'nun ilk üniversitesinin Elazığ'da kurulacağına dair gazetelerde haberler çıkmış ve arazilerin kamulaştırmaları dahi başlamıştı. Elazığ'da eğitime başlayacağı düşünülen ancak daha sonra Erzurum'da kurulması kararlaştırılan Atatürk Üniversitesi için Elazığ'da üniversite arazisi yeri belirlenmiş durumdaydı. Ancak, Doğu'da ilk üniversitenin kurulacağı şehir olma özelliği Elazığ'ın elinden alınarak Erzurum'a verilmiştir. 1957 yılında bir üniversite kurulması için direktten dönen Elazığ şehrine yüksek öğretim ile ilgili devletin yatırım yapması, üniversite olmasa da bir mühendislik ve mimarlık akademisinin orada kurulması son derece doğaldır. 1960'larda Türkiye'de az sayıda inşaat mühendisi yetiştiren illerden biri olan Elazığ 1950'li yıllarda üniversiteye sahip olmayı beklerken hayal kırıklığı yaşamış, ancak ülkemizde köklü yüksek öğretim kurumlarına sahip şehirlerden olmuştur.

## **6. Kaya Mühendisliğinde Kazı Uygulamalarına yönelik bazı Teknoloji Tarihi Notları**

İnsanlar tarih öncesi dönemlerden beri kayalarda kazı yapmak için uğraş vermiş ve görece düşük dayanımlı kayalarda kemik, ahşap gibi malzemelerle kısıtlı ölçüde kazı yapmaya başlamışlardır. Metallerin kullanılmaya başlaması ile birlikte daha sert kayalarda kazı yapmaya başlayabilmişlerdir. Yaklaşık 3000 yıl önce bulunduğu tahmin edilen ateş kurma yöntemi ile kazıya başlamadan önce kazacakları kayanın dayanımını düşürmüş ve kazı işlemlerini görece kolaylaştırabilmişlerdir. Ateş kurma yönteminde kazı yapılacak yüzey ateş yakılarak ısıtılmış ve bu ateş su ile söndürülerek ani soğuma ve ardından tekrar ateş kurarak ısıtma, bu şekilde tekrarlayan sıcaklık değişimleri neticesinde kayalarda çatlaklar oluşturmuş ve sonrasında kazıcı ekipmanlarla zayıflatılan kaya kazılmıştır. Ateş kurma yönteminde soğutma işleminde verimin artırılması için su yerine sirke veya sirkeli su kullanımının sade suya kıyasla daha iyi sonuç verdiği Roma döneminde anlaşılmış durumdaydı. Ateş kurma yönteminde verimin artırılması için ateşin güçlü olması ve kayayı ısıtacak kadar uzun süre yanması gerekmektedir. Ardından soğuk su, sirke veya sirkeli su dökülerek ateş söndürülmesi şok soğuma neticesinde çatlak oluşumu sağlamaktaydı. Bu çatlatma işlemi kayanın kazılabilirliğini iyileştirmekteydi. O dönem koşullarında bir teknolojik ilerleme olarak nitelendirilebilse de makineleşme sonrası döneme kıyasla ateş kurma yöntemi ile kazı yapmak oldukça zor ve yavaş ilerleyebilen bir işti. Ateş kurma işlemi sadece yüzeye yakın çatlamlar sağlayabiliyor ve

çatlakları ilerletmek için kaya kütlelerini defalarca ısıtıp soğutmak gerekiyordu. Yalnızca çok çatlaklı zayıf kayalarda ateş kurmadan sadece ucu sivriltilmiş kazıcı ekipmanla (keski, murç vb.) kazı yapılabilmekteydi. Sivri kazıcılara çekiçle darbe uygulayarak kaya kütesinin parçalanması/ kazılması sağlanıyordu. Keskin uçlu metaller sık sık köreliyor ve uçları yeniden sivriltilerek tekrar kullanılıyordu. Ortaçağda halen ateş kurma uygulamaları devam etmiştir. İnsanoğlunun patlayıcı barutu kazı yapmak için kullanmaya başlama konusundaki girişimleri de ortaçağda başlamıştır. Ormanların korunması için ateş kurma yönteminden vazgeçilmesini o zaman çeşitli devletlerce desteklenmiş, kaya patlatma işlemlerinde kullanılmak üzere kullanılması için barutun geliştirilmesine destek verilmiştir. 14. yüzyılda İngiltere ve Almanya'da barutların kimyasal olarak geliştirilmesi konusunda önemli çalışmalar gerçekleştirilmiştir. 15. yüzyılda ise Almanya başta olmak üzere madenlerde barut ile kazının başlamış olduğu görülmektedir. 16. yüzyılda Osmanlı'nın Avrupa'daki madenlerinde de barut ile kazı yapıldığı bilinmektedir. Ancak barut gerek iş güvenliği açısından, gerek patlatma performansı açısından geliştirilmeye muhtaçtı. 1846 yılında İtalyan Ascanio Sobrero'nun nitrogliserini bulması, 1859 yılında İsveçli Alfred Nobel'in nitrogliserinli ilk dinamitleri bulması kaya kazılarında önemli bir devrim sağlamıştır. Dinamitler eski usül barut kullanımına kıyasla hem daha güvenliydi, hem daha iyi patlatma performansı sağlamaktaydı. Nobel dinamitin patentini alarak başka üreticilerin pazara girmesini bir süre engelleyebilmiştir. Bu sürede çok para kazanmış ve kazandığı bu para ile Nobel Ödüllerini başlatarak başka

buluşlar bulan araştırmacıları maddi olarak fonlayabilmiştir. Bir diğer patlayıcı malzeme TNT 1863 yılında Alman Kimyager Joseph Wilbrand tarafından sentezlenmiştir. Ancak bu malzemenin patlayıcı özelliğe sahip olduğu daha sonra anlaşılmıştır. TNT ilk başta boyar madde olarak kullanıldı, 1902 yılında Almanlar ve 1907 yılında İngilizler tarafından patlayıcı olarak kullanılmaya başlandı. 20. yüzyıl başlarında elektrik kapsüller, 1922 yılında ise elektrikli gecikmeli kapsüller bulunmuştur. 1922 yılında 1 saniye gecikmeli kapsüller kullanılmaktayken, 1940 yılında 10-100 milisaniye gibi daha kısa süreli gecikmeli kapsüller kullanıma girmiştir. 1970'li yıllarda ise elektriksiz ateşleme sistemleri geliştirilmiştir. ANFO türü patlayıcılar 1956 yılında Amerika Birleşik Devletleri'nde geliştirilmiştir. Avrupa'da bir süre dinamitler ANFO'ya göre daha çok kullanılmış olsa da 1980 yılına gelindiğinde ABD gibi Avrupa'da da ANFO en yaygın kullanılan patlayıcı olmuştur. 1970'li yıllarda emülsiyon patlayıcılar keşfedilmiştir.

Patlayıcı malzemelerde gelişme ve iyileştirmeler yaşanırken patlayıcıların yerleştirildiği deliklerin delinmesi için kullanılan ekipmanlarda ve yöntemlerde de önemli ilerlemeler kaydedilmiştir. 19. yüzyılın ikinci çeyreğine kadar delme işlemi çelik murç çakma ile yapılmaktaydı, ucu körelen murçlar sık sık sivriltilerek kullanılmaya devam ederdi. Sert kayalarda delik delmek oldukça güç ve çok yavaştı. Körelen murçlar bir yere biriktirilir, uç sivriltmeye giderdi ve tekrar kullanıma hazır hale gelince kazı yanına taşınırdı. Bu taşıma işlemlerinde çoğunlukla işçilerin çocuklarının çalıştığı görülmektedir.

Delme işlemi, ucu sivriltilmiş çelik murç çubukları tutan bir adam ve delmek için çekiçleyen 2 diğer adam tarafından yapılmaktaydı. İlk delici makineler buharlı makineler olmuştur. Ancak buharlı makineleri yeraltı çalışma koşullarını güçleştirdiği için sıkıştırılmış (basınçlı) hava ile çalışan delgi makineleri geliştirilmiştir. 1850'li yıllarda basınçlı havalı delgi makineleri kullanıma girmiştir. 1870'li yıllarda ise daha verimli olduğu keşfedilen hidrolik makineler geliştirilmiştir. İlk hidrolik delici makine 1876 yılında Alman Alfred Brandt tarafından geliştirilmiştir. 19. yüzyılda yeni makineler geliştirilerek onlarca patent alınmıştır. 20. yüzyıl başlarında basınçlı havalı deliciler artık kullanılmaz hale gelmiş ve tamamen yerlerini hidrolik yağ basıncı ile çalışan makinelere bırakmıştır. Delgi işleminin pratikliği için zamanla makinelerin boyutları ufalmıştır. 1910'lu yıllarda jackhammer tipi delgiler icat edilmiştir. Bu tür makineleri 1930'larda en iyi geliştiren İsveç'li Atlas Copco şirketi olmuştur. Çelikten sert tungsten karbür delici uçların kullanılması da 1930'lu yıllarda delici verimini iyileştiren bir diğer önemli gelişme olmuştur. Tungsten karbür kullanımı ile aşınma direnci iyileştirilmiştir. 1950'li yıllarda sentetik elmasların üretimi delici performanslarının iyileştirilmesinde yine önemli bir ilerleme sağlamıştır. Sentetik elmas sert kayaların delinmesinde verimi ve delici uçların hizmet sürelerini artırmıştır. 1930'lu yıllarda sadece tek yönlü darbe kuvveti değil, eksenel dönme özelliği de olan delici uçlara sahip, aynı anda dönme ve darbe sağlayan ekipmanlar delgi verimini artırmış bulunmaktaydı. 1930'lardan önce tij manuel olarak dönderilebilmekteydi. Görece derin deliklerin oluşturulması için 1970'li yıllarda jumbo delicilerin

icat edilmesi de devrim niteliğinde bir gelişme olarak belirtilmelidir. Gerek makinelerin gerek delici malzemelerinin gelişimi delik derinliklerinin artması için avantaj sağlamıştır. Delgi derinlikleri ve delgi hızı sürgülü kollu ağır jumbo deliciler kullanarak önemli oranda artırılabilmiştir. 1980'lerde jumbo deliciler ile 100-120 m/saat delik delme hızına ulaşılmıştır. Atlas Copco'nun "İsveç yöntemi" adı altında geliştirdiği deliciler ile benzer kaya kütleleri içinde 1940'larda 20-25 m/saat hızda delgi yapılabilirdi. 1980'li yılların ortalarına gelindiğinde dünyada 9 adet jumbo delici üreticisi mevcuttu. Jumbo delicilerin gelişiminde o dönem en öncü firmanın Fransız Montabert olduğunu söylemek mümkündür. Henüz 1980 yılında Montabert'in dört kollu jumbo delicisi mevcuttu. Bir diğer önemli jumbo delici üreticisi olan İsveç'li Atlas Copco 1970'li yıllarda 250 atm hidrolik yağ basıncı ve dakikada 3600 vuruş sağlayan makineler geliştirmiştir. 1980'li yıllarda delik delici makineler bugünlere benzer hale gelmiştir. Bu dönemde çift kollu (boomer) jumbo deliciler ile dört metre uzunlukta saatte 60 delik delmek mümkün hale gelmiştir. Sert İsveç granitinde Atlas Copco'nun tek kollu jumbo delicilerinin saatte 100 metre üzerinde delgi yapabildiği bilinmektedir.

Mekanik kazı tarafına gelince, 1839 yılında ilk ekskavatör için patent başvurusunda bulunulmuştur. Ekskavatörlerin atası olarak adlandırılan ilk "shovel" 1835 yılında William S. Otis tarafından üretilmiştir. Bir inşaat firmasının ortağı olan Otis, üstlendiği demir yolu projelerini zamanında tamamlamak ve hafriyat işlerini hızlandırmak için yeni yollar deniyordu. Ağır yükleri kaldırmak için



ilkel yöntemlerin yetersiz geldiğini gören Otis, buhar makinelerinin gücünün fayda sağlayabileceğini düşündü. Otis, mühendis arkadaşı Charles H. French ile birlikte 1835 yılında dünyanın ilk buhar gücüyle çalışan shovelini geliştirdi. 0.8 metreküp kovaya ve bir çemberin yarısı kadar dönme kabiliyetine sahip olan bu makinedeki bom hareketleri halat ve zincirle sağlanıyordu. Bu ilk shovel demir yolu rayları üzerinde ilerlemekteydi.

Buhar gücü yerine hidrolik yağ ile güç sağlayan ekskavatörlerin üretimine yönelik çalışmalar da 19. yüzyılda başlamıştır. İlk hidrolik ekskavatör, Sir W.G. Armstrong & Company firması tarafından 1882 yılında İngiltere’de üretilmiştir. Raylar üzerinde hareket eden bu makinedeki kaldırma gücü bir makara sistemini çalıştıran hidrolik silindirik ile sağlanıyordu. Ekskavatörlerin gelişimi yolundaki önemli bir diğer adım da Richard P. Thew’in 1884 yılında 360 derece dönebilen ilk shoveli geliştirmesi oldu. 1920’lerde ray üzerinde hareket etmeye kıyasla daha iyi hareket kabiliyeti sağlayan lastik tekerlekli ekskavatörler kullanılmaya başlandı. Ray üzerinde yürüyen ekskavatörler demir yolu inşaatlarında avantajlı olsalar da çoğu kazı uygulamasında dezavantajlı konumlardı. Lastik tekerlekli, mobilitesi iyileştirilmiş ekskavatörler madencilik ve inşaat sektörlerinde önemli bir gelişme sağlamıştır. Yine 1920’li yıllarda dizel motorlu ekskavatörler üretilmeye başlanmıştır. Lastik tekerlekli ekskavatörlerden yaklaşık 20 yıl önce 1901 yılında da ilk paletli ekskavatör üretimi yapılmıştır. 1950’li yıllarda halatlı zincirli ekskavatörler yerine kalın metal projil bomlu ekskavatörler

kullanılmaya başlanmıştır. Yine 1950'lerde bom boylarının uzadığı hatta o dönem teleskopik bomlu ekskavatörlerin de üretime başladığı bilinmektedir. 1960'larda ekskavatörler günümüzdekilere benzer hale gelmiş durumdaydılar.

Madenlerde kazı işlerinde kullanılan kollu kazı makineleri (roadheader) ilk olarak yine 1940'lı yıllarda üretilmeye başlamıştır. İlk roadheader makineler günümüzdekilere kıyasla 1/10 oranında güç sağlayabilmekteydiler ve tipik olarak 40 MPa dayanım altında kayaların kazısı için kullanılmaktaydılar. İlk kollu kazıcı patenti 1949 yılında Macaristan'da Dr. Z. Ajtay tarafından alınmıştır. İlk kollu kazıcılar genellikle kömür madenlerinde kullanılmış ve teknolojinin gelişmesi neticesinde zamanla daha sert kayalarda kazı yapabilen makineler haline gelmişlerdir. 1960'larda pasa toplayan ve band konveyörle pasa aktaran günümüzdekilere benzer kollu kazıcılar üretilmiştir. 1970'li yıllarda sert kayalarda kazı yapabilen kollu kazıcılar özellikle yeraltı kazılarında yaygınlaşmıştır. 1970'li yılların mekanik kazı yapan ekipmanların ve aynı şekilde delgi ekipmanlarının gelişimi açısından önemli bir dönem olduğunu söylemek mümkündür.

Mekanik kazıcılardan bir diğeri, tam cephe kazı yapan TBM (tunnel boring machines) türü makinelerdir. TBM'lerin ilki olmasa da ilk başarı sağlayanı 1875 yılında Frederick Beumont tarafından geliştirilmiştir. Beumont'un TBM tasarımı 1880 yılında İngiliz Thomas English tarafından tekrar geliştirilmiştir. TBM keşfi için altyapı sağlayan önemli bir buluş tünel inşaatlarında 1825 yılında kalkanlı kazıların başlamasıdır. İlk kalkanlı kazı İngiltere'de Thames

tüneline gerçekleştirilmiştir. Kalkanların bu ilk kullanımlarında iş kazaları, uygulamada zorluklar ve diğer çeşitli sorunlar yaşanmış olsa da kalkanlar süre içerisinde geliştirilmiştir. Thames tüneli doygun zeminde kazılan bir tünel olarak çağının teknolojik koşullarına meydan okuyan ve mühendislik tarihinin en cesur örnekleri arasında yer alan bir tüneldir. İlk TBM 1853 yılında üretilmiş ve ilk kazısında sadece 3 metre kazı yapabilmıştır. 1880'lerde yeni tünellerin TBM ile kazılması konusunda önemli örnekler vardır. Örneğin, 1883 yılında İngiltere ve Fransa arasında İngiliz kanalı altında bir tünel kazmak için biri İngiltere birisi Fransa tarafından çalışmaya başlayan iki TBM kullanılmıştır. Her iki taraftan da 1.7 km dolaylarında kazı tamamlanmış ve toplam neredeyse 3.5 km uzunluğunda kazı gerçekleştirilmiş olsa da özellikle savunma tedbirleri göz önüne alınarak savaşlarda güvenlik zaafiyeti oluşturabilme ihtimali sebebiyle tünel inşaatı durdurulmuştur. 19. yüzyılın TBM ile kazılan en uzun tüneli 2.1 km uzunluğundaki Liverpool tünelidir. 20. yüzyıl boyunca TBM tasarımları sürekli geliştirilmiştir. Demiryolları, karayolları, su taşıma tünelleri, ana maden galerileri, kanalizasyon vb. işlerde TBM ile kaya kazısı yaygınlaşmıştır. 20. yüzyılda TBM ile kazılan tünellerin çapları 14.4 metreye kadar çıkmıştır. Niagara tünel projesi kapsamında 20. yüzyılın en geniş çaplı TBM tünelleri kazılmıştır. 21. yüzyılın ilk çeyreği içinde de uygulama boyutları artarak TBM tünel çapı 17 metreye kadar çıkmıştır. 1920'li yıllarda TBM kazıları yumuşak kaya içerisinde 5-6 metre çapında tüneller için 2-2.5 metre/saat ilerleme hızı ile gerçekleştirilmekteydi. Bu yıllardaki TBM'ler kazı yaparken tahkimat yerleştiremiyordu. Ancak pasa

taşıyan konveyör sistemlerin TBM ile birlikte kullanımı 1880'de üretilen Frederick Beumont'un makinesinde mevcuttu. 1960'lı yıllarda 2.5 metre/saat ilerleme hızı orta sertlikte kayalar için mümkün hale gelmiştir. 1970'lerde ise bu ilerleme hızı sert kayalar için sağlanmış durumdaydı. Kazı ile birlikte tahkimat yapan, ilk beton segmanlar yerleştiren TBM'ler 1963 yılında üretilmiştir. 1980'lerde kaya saplaması ve beton segmanları birlikte uygulayan TBM'ler üretilmiş, ilgi görmüş ve 90'larda yaygınlaşabilmiştir. 1964'te ilk EPB türü pasa basınçlı TBM üretilmiştir. Böylelikle çok kötü kalite kaya kütleleri ve baskılı zeminlerde güvenlik ve TBM performansları iyileştirilebilmiştir. 1972 yılında ise ilk çift kalkanlı TBM üretilmiştir. 60'larda Robbins, 70'ler ve 80'lerde yine Robbins ve Herrenknecht TBM teknolojisindeki gelişimi sağlayan öncü firmalar olmuşlardır.

## **7. İlk Kaya Mekaniği Dergileri ve Yayınları**

Bu başlıkta kaya mekaniğinin akademide yeni bir bilimdalı olarak kuruluşunu yaşadığı 1950’li yıllardan sonra geçen ilk çeyrek asır süre içerisindeki literatürüne yönelik incelemeler aktarılacaktır. 1969 yılında sadece kaya mekaniği üzerine yayın yapmaya başlayan ilk dergi eski adı ile “Rock Mechanics” ve bugünkü adı ile “Rock Mechanics and Rock Engineering” dergisidir. Bu dergi yayın hayatına girmeden önce sadece kaya mekaniği alanına ait çalışmaları yayınlayan başka bir dergi yoktu. Kaya mekaniği madencilik, inşaat mühendisliği, mühendislik jeolojisi veya geoteknik branşlarının bir alt dalı olarak kendine bilimsel yayın organlarında kısmi yer bulabiliyordu. Kaya mekaniğini de içeren inşaat, madencilik veya mühendislik jeolojisi konulu bir derginin yayın bulma olasılığı sadece kaya mekaniği konulu bir dergiye göre daha yüksektir. Bu sebeple, “Rock Mechanics” dergisinin cesur bir girişimle 1969 yılında yayın hayatına başlamış olduğu değerlendirilmelidir. Diğer taraftan, 1969 yılı kaya mekaniği için artık buna uygun şartların sağlandığı bir zamandır. “Rock Mechanics” dergisi Stini tarafından 1929 yılında “Geologie und Bauwesen” ismiyle kurulan, Türkçe “Jeoloji ve İnşaat Mühendisliği” olarak ismi çevirilebilen derginin devamı niteliğini taşımaktadır. Bu derginin sadece kaya mekaniği alanında yayınlara yönelmesi 1969 tarihinde gerçekleşse da kuruluş tarihi olarak 1929 yılını baz almak daha doğru olacaktır.

İkinci kurulan kaya mekaniği dergisi kaya mekaniği ve maden jeomekaniğinin çeşitli konularında yayın hayatına 1964 yılında

başlamış olan eski adı “International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts” ve yeni adı “International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences” olan dergidir. Bu dergilerin yayınlarına bakarak kaya mekaniğinin 1960 ve 70’li yıllardaki trend konuları kısaca aşağıda sıralanmıştır:

Arazi gerilme dağılımları ve ölçümüne yönelik yöntemlerin geliştirilmesi, kaya kütle süreksizliklerinin mekanik açıdan incelenmesi, kaya kütlelerinin yapısal özellikleri, kaya kütle sınıflama sistemleri ve ampirik tasarım yöntemleri geliştirilmesi, kaya malzemelerine yönelik standart laboratuvar deney yöntemlerinin geliştirilmesi, Yeni Avusturya Tünel Açma yönteminin uygulamaları, Çağdaş tahkimat anlayışına göre kaya tahkimat etkileşimleri, Kaya şev stabilitesi hesap yöntemleri, Kaya üzerine inşa edilen büyük barajların stabilitesine yönelik tasarım metotları, Yeraltı sularının kaya kütlelerinin mekanik davranışı üzerindeki etkileri, kaya malzemelerinin mikroyapısal özelliklerinin kırılma mekaniği üzerine etkileri, madenlerde topuk tasarımı, sonlu elemanlar gibi sayısal analiz yöntemlerin kaya malzemesi ve kaya kütleleri için kullanımına yönelik öncül incelemeler 1960 ve 70’li yıllarda Kaya Mekanikçilerinin en çok ilgi gösterdikleri konular olmuştur. 1970’li yılların ikinci yarısından sonra bu konulara ek olarak kaya kesme konusu, mekanik kazıcı performansları, patlatmalı kazıda kaya kütlesi özelliklerine bağlı tasarım yöntemleri vb. kaya kazılarına yönelik konuların da dergilerde yaygınlaşmaya başladığını görmek

mümkündür. Burada mercek altına alınan dönemde bu ikisi dışında başka kaya mekaniği dergisi mevcut değildir.

1960'lı ve 70'li yıllarda "Rock Mechanics" dergisi yılda 4 sayı ve yılda ortalama 15 araştırma makalesi yayınlamıştır. "International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts" dergisi ise 60'lı ve 70'li yıllarda yayınladığı çok sayıda özet ve kısa teknik notların dışında tam metin araştıma makalesi olarak yılda 30 makale üzerinde yayın yapmıştır. Yılda 4 sayı olan yayın periyodunu sırasıyla 1968 yılında 6 ve 1974'te 12'ye çıkarmıştır. Günümüzde bu dergilerin her birinin yıllık 400 civarında makale yayınladığı ve dergiye gelen makaleleri kabul oranlarının %15 dolaylarında olduğu dikkate alındığında kaya mekaniğine ilginin kuruluş yıllarından bugüne kadar büyük bir ölçüde arttığı görülebilmektedir.

Ülkemiz de sadece kaya mekaniği alanında yayın yapan bir dergi kuran ülkelerdendir. "Türk Kaya Mekaniği Dergisi" Türk Ulusal Kaya Mekaniği Derneği tarafından yayınlanmış yerli bir dergidir. Bizim gibi gelişmekte olan ülkelerle kıyaslandığında bu derginin 1982 yılında yayın hayatına başlamış olması çok kıymetlidir. Bu tür dergilerimizin gelişerek uluslararası dergilerle rekabet edecek nitelikte olması gerekirken, malesef 2008 yılından sonra yayın hayatı durmuştur. Tekrar Türk Ulusal Kaya Mekaniği Dergisi'nin yayın hayatına dönmesi, uluslararası saygın indekslerce taranması ve makale sayısını artırarak yayın hayatına aksamadan devam etmesi ülkemiz için gurur kaynağı olacaktır.

Bu küçük kitap çalışmasında kaya mekaniği tarihindeki bazı önemli konu başlıklarına değinmek ve ilgi duyan kişiler için fayda sağlayan bir derleme oluşturmak hedeflenmiştir. Kaya mekaniği tarihi konusunu çok daha kapsamlı ele almak ve hızla gelişen bu bilim dalının geçmişi ile ilgili incelemeler gerçekleştirmek son derece faydalıdır. Kaya mekanikçilerin güncel konulardaki çalışmalarının yanı sıra, ilgili bilimdalı tarihinin daha iyi anlaşılması için de vereceği emekleri çok kıymetlidir. Geleceği daha iyi görebilmek için geçmişi daha iyi anlamak gerekir. Kaya mekaniğinin gelişimi ve bugüne geldiği yolu bilen bir bilim insanı çalışma alanının ufuklarını daha net görebilecek, yeni yollar ve yönelimler için daha iyi kararlar verebilecektir.



## **8. Kaya Mühendisliğinde Tasarım Yöntemlerinin Tarihsel Gelişimi**

Bilginin güvenilirliğini belirleyen temel unsurlar gözlenebilirlik, ölçülebilirlik, iletilebilirlik, tekrarlanabilirlik ve sınanabilirliktir. Tasarım yöntemleri ile elde edilen çıktılarının güvenilirliği açısından tasarımın niteliğini, etkililiğini, özelliklerini belirlemek üzere sistematik olarak veri toplama ve analiz etme sürecine devam edilmeli, var olan tasarımda değişiklik gereksinimleri ile ilgili karar vermeye odaklı olarak değerlendirme çalışmaları gerçekleştirilmelidir. Güvenilir bir tasarım için değerlendirme çalışması ve farklı yöntemler ile elde edilen sonuçların birbirini doğrulaması önemlidir. İyi bir tasarım için en az iki farklı tasarım yöntemi birlikte kullanılarak doğrulama gerçekleştirilmelidir. Kaya mekaniğinde tasarım yöntemleri ana başlıkları ile Analitik yöntemler, Numerik model yöntemleri, Ampirik (görgül) yöntemler ve günümüzde kullanımı kısıtlı da olsa fiziksel modelleme yöntemleri olarak sıralanabilir. Bu yöntemlerin de kendi içlerinde çeşitleri mevcuttur. Örneğin, numerik modelleme yöntemleri kendi içerisinde sonlu elemanlar, sonlu farklar, ayırık elemanlar, sınır elemanları yöntemleri veya bu yöntemlerin hibrit kullanıldığı yöntemler şeklinde gruplara ayrılabilir. Ampirik yöntemler de oldukça farklı puanlama metodları ve kaya kütlesi sınıflama sistemlerine dayalı olarak çeşitlilik gösterir. Örneğin, RMR, Q, GSI, RMI, RSR, RMQR, NATM sınıflaması, Terzaghi kaya kütle sınıflaması gibi çeşitli ampirik yöntemler mevcuttur. Ampirik yöntemler daha çok tecrübeye ve gözmele dayalı kaya kütlelerine

yönelik bir puanlama ve/veya sınıflama sistemlerinin kullanıldığı yöntemlerdir. İlk kaya kütle sınıflama sistemleri tünelcilikte tahkimat tasarımına yönelik 1879 yılında Ritter tarafından geliştirilmiştir. Günümüzde kullanılmayan eski ampirik yöntemlerden bir diğeri de yine tünel tahkimat tasarımına yönelik olarak Bierbaumer tarafından 1911 yılında geliştirmiştir. Bierbaumer çağdaş olmayan anlayışa göre tünel tahkimatı üzerine etkiyecek yükü belirlemek için gevşeyen kaya kütlesi sınırlarını incelemiş ve bu konuda geometri ve boyut hesabı konusunda yaklaşım önerilerinde bulunmuştur. Tünel tahkimatlarının tasarımlarına yönelik bir diğör öncü kaya kütlesi sınıflama yöntemi 1940'lı yıllarda Terzaghi tarafından yayınlanan çalışmalar ile literatüre kazandırılmıştır. Terzaghi kaya kütleleri için 9 farklı sınıf önermiş ve bu sınıflara bağlı tavanda oluşacak plastik zon sınırları için boyut önerilerinde bulunmuştur. Terzaghi, başlıklar altında topladığı kaya kütlesi sınıfları için farklı tahkimat uygulamaları önermiştir. Ancak, bu tahkimat tasarımı önerileri geleneksel anlayışa uygun olup, çağdaş tahkimat anlayışını yansıtmamaktadır. Yani plastik zonun ölü yükünü taşımaya yönelik yapılan tahkimat önerilerini içermektedir. 1967 yılında Deere tarafından önerilen RQD kendi başına çeşitli incelemelerde anlamlı bir parametre olarak kullanılmakla birlikte RMR ve Q gibi diğör ampirik yöntemler içerisinde de önemli bir parametre olarak yer almaktadır. RMR ve Q sırası ile 1976 ve 1974 yıllarıda bulunmuş Terzaghi'den sonra tahkimat tasarımı önerileri mevcut diğör ampirik yöntemlerdir. RMR yöntemi Bieniawski tarafından, Q yöntemi ise Barton tarafından ilk önerilmiş daha sonra her iki yöntem de diğör araştırmacıların da katkıları ile gelişmiş ve çeşitli

revizyonlar geçirmiştir. Hem RMR, hem Q sisteminin kendi tahkimat tasarım abağı mevcuttur. RSR 1972 yılında Wickham ve arkadaşları tarafından önerilmiş bir diğer sınıflama sistemidir. 1970'li yılların ampirik yöntemlerin gelişimi açısından verimli bir dönem olduğu görülebilmektedir. Nicel sınıflama sistemlerinin kullanımı nitel yöntemlere göre genellikle daha avantajlıdır. NATM kaya sınıfları nitel ifadeler referans alınarak kullanılmaktadır. NATM kaya sınıfı yöntemi 1958'den 1974'e kadar birçok kez revize edilmiş, en son Pacher'in 1974 yılındaki revizyonlarından sonra tünel sınıfının seçilmesi, buna bağlı kazı ve tahkimat tasarımında başvurulan popüler ampirik yöntemlerden biri olmuştur.

GSI VE RMI 90'lı yıllarda yayınlanmış olan ampirik yöntemlerdir. GSI Hoek, Kaiser ve Bawden tarafından 1995 yılında, RMI ise Palmstrom tarafından yine 1995 yılında yayınlanmıştır. Bu yöntemlere göre daha yeni bir ampirik yöntem olan RMQR ise Aydan, Ulusay ve Tokashiki tarafından 2013 yılında yayınlanmıştır. GSI kullanım amacı olarak diğer yöntemlerden biraz ayrılır, çünkü kaya kütleleri için bir yenilme ölçütü olan Hoek&Brown yenilme ölçütü içerisinde bir girdi parametre olarak kullanılır. Kaya kütle dayanım değerlerinin hesaplanmasında, kaya kütle yenilme koşullarının incelenmesi için Hoek&Brown yenilme ölçütü gerilme dağılımı analizi yapan numerik model programları ile birlikte kullanılmaktadır. Gerilme dağılımlarına bağlı duraylılık analizini Hoek&Brown yenilme ölçütü kullanarak yapan çeşitli numerik modelleme programları (yazılımları) mevcuttur. Numerik modelleme tarihçesi bu

bilgisayar yazılımlarının tarihçesinden daha eskiye dayanmaktadır. İlk sonlu elemanlar yöntemine yönelik sayısal analiz çalışmaları 1930'lu yıllarda başlamış ve 1940'lı yıllarda teorik çalışmalardan daha çok uygulamalı çalışmalarda da sonlu elemanlar yöntemi kulanıma girmiş, 1950'li yıllarda uçak tasarımları, üstyapı tasarımları, çeşitli makine parçaları tasarımlarında, vb. tasarım işlerinde sayısal analiz yöntemi olarak sonlu elemanlar metodunun kullanılmaya başladığını söylemek mümkündür. İlk zamanlar bilgisayar yazılımı olmadığı için diferansiyel denklemler elle çözülmekte ve analizlerden sonuç almak çok uzun süre sürebilmekteydi. Bilgisayar yazılımlarının geliştirilmesi ile görece diferansiyel denklemler konusunda iyi altyapıya sahip olmayan kişiler de analizler yapmaya başlayabilmiş ve gelişen bilgisayar teknolojisi sayesinde zamanla analizler hızlanmıştır.

İlk olarak sonlu elemanlar yöntemleri gerilme dağılımı analizlerinde kullanıldı. Yapı ile ilgili ilk çalışmalar 1940'larda Hrennikoff ve McHenry tarafından geliştirilen yarı analitik analiz metotlarıdır. Argyis ve Kelsey virtuel iş prensibini kullanarak bir direkt yaklaşım metodu geliştirmiştir. Turner ve diğerleri 1956 yılında üçgen eleman için rijidlik matrisini oluşturmuştur. "Sonlu Elemanlar" terimi ilk defa Clough tarafından 1960 yılındaki çalışmasında telaffuz edilmiştir. Metodun üç boyutlu problemlere uygulanması iki boyutlu teoriden sonra zorlanmadan 1964 yılında gerçekleştirilebilmiştir. Araştırmacılar 1960'lı yılların başlarında non-lineer problemlerle ilgilenmeye başlamışlardır. 1960'lı yılların ikinci yarısında statik problemlerin yanı sıra dinamik problemlerde de sonlu elemanlar

metodu kullanılmaya başlamıştır. 1970'lerde sonlu elemanlar metodu geliştirilerek ısı transferi, yeraltı sularının akışı, manyetik alan ve diğer birçok alana uygulanabilir hale getirilmiştir. Genel amaçlı sonlu elemanlar paket programları 1970'li yıllardan itibaren ortaya çıkmaya başlamıştır. 1980'li yılların sonlarına doğru ise artık paket programlar kişisel bilgisayarlarda kullanılmaya başlanmıştır. 1990 yıllarının ortaları itibariyle sonlu elemanlar metodu ve uygulamalarıyla ilgili yaklaşık olarak 40000 makale ve kitap yayınlanmıştır. 1980'li yıllarda geoteknik alanı için geliştirilen spesifik ilk yazılımlar üretilmeye ve ticari ürün olarak satılmaya başlamıştır. Örneğin, bir sonlu farklar analiz yöntemi olan ITASCA şirketinin FLAC programı ilk 1986 yılında kullanıma girmiştir. 1980'lerin sonlarına doğru Hollanda merkezli PLAXIS şirketi Delft Teknoloji Üniversitesi ve Hollanda Su ve Altyapı Bakanlığı işbirliği içerisinde ürün geliştirmeye başlamıştır. Geoteknik alanı için geliştirilen sayısal analiz programlarından biri olarak ilk ticari Plaxis programı 1993 yılında satışa sunulmuştur. Yine önemli bir geoteknik yazılım şirketi olan rocscience şirketi Phase2D yazılımlarını 90'lı yılların başında kullanıcılarına sunmuştur. Bu programlar günümüze değin aralıklarla güncellenmiş, geliştirilmiş ve yeni versiyonları üretilmiştir. Plaxis ve Phase2D sonlu elemanlar sayısal analiz yöntemini kullanarak çözüm yapmakta olan popüler programlardır. Çekya merkezli Fine şirketi tarafından günümüzde GEO5 ismi ile satışta olan bir diğer sonlu elemanlar yöntemi ile çözümleme yapan geoteknik yazılımı ise ilk olarak GEO ismi ile 1990 yılında satışa çıkmış ve kullanıma başlamıştır. Bugün popüler olan çoğu geoteknik yazılım şirketinin ürün satışlarına 90'lı yılların

başlarında başlamış oldukları görülmektedir. Zaman içerisinde diğer sayısal analiz yöntemleri de geliştirilmiştir. Bunlardan biri ayrık elemanlar yöntemidir. Özellikle ITASCA şirketi ayrık elemanlar yönteminin geoteknik mühendisliğinde kullanımına yönelik paket programların geliştirilmesinde öncü şirket olmuştur. İlk kez ayrık elemanlar yöntemi bir sayısal analiz yöntemi olarak 70'li yıllarda çalışılmaya başlanmıştır. 80'li yıllarda ITASCA kaya mekaniği alanında kullanılmak için ayrık elemanlar yöntemi kodlarını UDEC ismi ile üretmeye başlamıştır. Zamanla daha gelişmiş olan ayrı eleman modelleme yani DEM (Discrete element modelling) programları geliştirilmiştir. Ayrı elemanlar ve sürekli ortam yöntemleri (sonlu elemanlar ve sonlu farklar yöntemleri) birbirlerine karşı sağladığı farklı konudaki avantajlarından faydalanılması için birlikte kullanıma yönelik melez (hibrit) yazılımlar da geliştirilmektedir. Hibrit yazılımların geliştirilmesi günümüzde sayısal analiz çalışan kaya mekanikçiler için ilgi gören bir konudur. Burada ismi geçen sayısal analiz yöntemlerinin yanı sıra kullanımı günümüzde kaya mühendisliğinde yaygın olmayan sınır elemanlar yöntemi (BEM) de mevcuttur. Rockscience şirketinin eski ve ilkel bir yazılımı olan Examine sınır elemanlar yöntemine bağlı analiz yapmaktadır.

Analitik yöntemler ile çözümü zor olan ve hatta imkansız olan problemlerin bilgisayar kullanımı ile numerik modelleme (sayısal analiz) yöntemi uygulanarak çözümü mümkündür. Bilgisayar kullanımı ile numerik modellemenin analitik yöntemlere kıyas ile başka bir avantajı ise çok sayıda veri olması durumundaki sağlanan

pratikliktir. Sonlu elemanlar ve sonlu farklar yöntemleri gibi diferansiyel yöntemlerde temel prensip, çözümlene yapılacak olan yapının yeteri küçüklükte bölünerek ağ oluşturulmasıdır. Ağ, önceden tanımlı düğümlerin birbirleriyle bağlantıları olarak ifade edilebilmektedir.

Diferansiyel yöntemlerde birbirleriyle etkileşimli olarak tanımlanmış olan ağların oluşturduğu sistem tüm problem bölgesi için denklemler kullanılarak çözülür. Sonlu elemanlar yöntemindeki ağlar bölünmüş elemanlardan oluşmaktadır, temel kabul denge durumundaki bir malzeme için elemanların düğüm noktalarındaki toplam net enerjinin sıfır olmasına dayanmaktadır. Örneğin, duraylı bir modeldeki bir elemanın düğüm noktalarında kuvvetlerin büyüklükleri ve yönlerine bağlı olarak vektörel toplamları sonucu sıfır olmalıdır. Aksi halde, eleman denge konumunda değildir ve duraylı olamaz.

Çözüm süresi eleman sayısı ve bilgisayar donanımı ile orantılıdır. Bu nedenle, tüm geometri boyunca değil, sadece daha hassas sonuçlar elde edilmek istenilen bölgelerde eleman sayısının artırılması mümkündür. Sonlu elemanlar ve sonlu farklar yöntemleri ortamı sürekli olarak tanımlayan, birim alanların etkileşimlerini ve kantitatif özelliklerini inceleyen alan yöntemleridir. Yeraltı açıklığı oluşturulması gibi kaya kütlesi içerisindeki değişikliklerin doğru modellenmesi için genel model sınırlarının kazı sınırlarından yeterli mesafeye sahip olacak şekilde modellenmesi gerekmektedir. Aksi takdirde, ikincil gerilme analizleri gerçek koşulları yansıtamayacaktır.

Sonlu farklar yöntemindeki esas olan teknik diferansiyel denklemler çözümünde kullanılacak olan konumların ayrıklaştırılması, yapının yeteri küçüklükte aralıklara bölünerek ağ/ızgara sistemi oluşturulmasıdır. Ayrıklaştırılmış sınırlar için ağ yapısına bağlı sayıda sonlu fark denklemi elde edilir ve bu diferansiyel denklem çözümlerinden elde edilen değerlere, farklılıklara bağlı olarak yapı içindeki konuma dayalı değişim incelenmektedir. Ağ sistemi oluşturulması açısından sonlu farklar yöntemi sonlu elemanlar yöntemine benzer olsa da diferansiyel denklemleri ve çözümlene prensipleri farklıdır. Sonlu farklar sonlu elemanlar yöntemine kıyasla daha önceden çalışılmaya başlanmış bir diferansiyel denklem yöntemidir. İlk teorik araştırmalar 1860'lı yıllarda başlamış, sonlu farklar denklemleri ile uygulamalı matematik analizleri ise 1920'lerden itibaren kullanılmıştır. Kaya mühendisliğinde sonlu farklar yöntemini ilk kullanan yazılım 1986 yılı satışa giren FLAC (ITASCA şirketi) yazılımıdır. Daha önce de ifade edildiği gibi, sonlu elemanlar yöntemini kullanan geoteknik alanındaki paket programlar 90'larda piyasaya sürülmeye başlanmıştır.

Sınır elemanlar yöntemi uygulanırken çözüm bölgesinin sonlu elemanlar ve sonlu farklar yöntemlerinde olduğu gibi kendisi değil sınırının düğümler ile bölünmesi gerektiğinden çok daha az sayıda bilinmeyen vardır. Sınır elemanlar yöntemi, yapıların ağ sistemi içermeden kolay modellenebilmesi, çözümlenelerde daha az sayıda veri gerektirmesi dolayısıyla hızlı ve kısa zamanda sonuca ulaşılması açısından avantajlıdır. Sınır elemanlar metodunda, ele alınan cismin



davranışını belirleyen diferansiyel denklem cismin sınırları üzerinde tanımlanan integral denkleme dönüştürülmekte ve yalnızca çözüm bölgesi sınırının elemanlara bölünmesi yeterli olmaktadır.

Sonlu elemanlar ve sonlu farklar yöntemlerinde ağlar farklı geometrik şekiller kullanılarak oluşturulabilir. Sınır elemanlar metodunun genel olarak lineer olmayan deformasyon analizlerinde sonlu elemanlar ve sonlu farklar yöntemlerine nazaran uygun olmayan bir yöntem olduğu, bunun yanı sıra çatlak ilerleme analizlerinde kullanımının kısmen iyi sonuçlar verebildiği bilinmektedir.

Ayrı elemanlar yönteminde farklı tane ve parçalar farklı elemanlar olarak incelenmektedirler, bu nedenle bloklu, sık çatlaklı kaya kütlelerinin duraylılık analizlerine yönelik ayrı elemanlar yöntemi kullanışlıdır. Ancak, kaya kütlelerinin sahip olduğu bilinmezlikler nedeni ile sayısal modelleme çalışmaları çıktılarının güvenilirliği tartışmaya açıktır. Bu konuda girdi olarak güvenilir bilgiye sahip olunması açısından özellikle birincil gerilmeler ve yönlerinin, kaya kütlesi özelliklerinin, kaya kütlesi içerisindeki jeolojik nedenler ile oluşan farklılıklar gösteren bölgelerin doğru tayini önemlidir. Ayrı elemanlar metodu kullanımı için arazideki süreksizlik konumlarının, blok şekillerinin modellenmesi kaya kütlesi içindeki bilinmezlikler nedeni ile zordur. Ayrı elemanlar yöntemi ayrıca toprak (zemin) için de yaygın kullanılmaya başlamıştır. Ancak, çok sayıda, düzensiz ve farklı tane şekilleri içeren toprak modelleri için çözümler günümüzde pratik olmamaktadır. Ayrı elemanların temas

yüzeylerinde gelişebilen büyük yer değiştirmeleri diğer yöntemler doğru hesaplayamamaktadır.

Günümüzde ayrı elemanlar yönteminin kaya malzemelerine yönelik geliştirilmesi kapsamında aktif olarak araştırmalar ve çalışmalar devam etmektedir. Bu kapsamda, mineral tane temas özellikleri, taneler arası kohesif davranış, tanecik etkileşimleri ve tanelerin kendi mekanik özelliklerinin detaylı olarak modellenebilmesi mümkündür. Numerik modellemenin en önemli avantajlarından biri farklı değişken değerlerinin etkilerine yönelik pratik gözlem yapılmasının mümkün olmasıdır. Bu yüzden numerik analiz gerek mühendislik tasarımları ve gerek bilimsel araştırma amaçlı olarak yaygın olarak başvuru olan bir yöntem durumuna gelmiştir. Son yıllarda çok sayıda uygulama alanı için yaygınlaşmış olması ve sonuçlarının uygulamada doğrulanması numerik modellemenin çeşitli açıdan gelişmeye açık olsa da kullanılabilir bir tasarım yöntemi olduğunu ortaya koymuştur. 1980'li yıllardan başlayarak geoteknik mühendisliğine giren numerik modelleme programlarının kullanılmadığı dönemlerde kazı geometrisi için uygun bir bağıntı mevcut olması durumunda analitik yöntemler kullanılabilirdi.

Analitik yöntemler genellikle çok karmaşık olmayan belirli şekiller, yapılar ve tanımlanmış modeller üzerine geliştirilmiş matematiksel çözümlerin kullanımını kapsamaktadır. Kaya mühendisliği problemlerine yönelik numerik yöntemlerin keşfinden önceki süreçten günümüze uzun yıllardır başvurulmakta olan bir tasarım yöntemidir. Çok sayıda veriyi ve tekrarlanan çözümü kapsayan problemler

açısından bilgisayar kullanımı gerekmektedir. Bilgisayar kullanımı analitik yöntemler ile tasarımda bir parça hızlanma sağlamaktadır. Analitik tasarım yöntemlerinin geliştirilmesi altında yatan ana sebeplerden biri 17. yüzyıldaki bilimsel devrimi takiben 18. yüzyılda Leonard Euler, Joseph-Louis Lagrange ve Joseph Fourier gibi uygulamalı matematik alanında çığır açan araştırmacıların sağladığı ilerlemelerdir. Uygulamalı matematik çalışan araştırmacılar çeşitli mühendislik problemlerinin çözümüne katkı getiren denklemler önermişlerdir. Kaya mekaniği açısından Kirsch denklemleri en popüler analitik tasarım bağıntılarından biridir. Henüz numerik modelleme yöntemlerinin tasarımda mevcut olmadığı dönemden günümüze tüneller kazılarak etrafında oluşan gerilmelerin analizinde kullanılan meşhur Kirsch denklemleri Alman Earn Gustav Kirsch tarafından 1898 yılında önerilmiştir. Gerilme dağılımlarının analiz edilmesinin yanı sıra tüneller için deplasmanlar için önerilen analitik bağıntıların da 1930'lu ve 40'lı yıllarda elastisite teorisine bağlı geliştirildiği görülmektedir. Kirsch bağıntılarından daha önce türetilen ve kaya mekanikçilerin geçmişte kullandığı bağıntılardan birini de iki Fransız (Lame ve Clapeyron) 1831 yılında önermiştir. Bu yaklaşımda kalın çeperli ve delikli silindirik cisimlerin hidrostatik basınç altında gerilme dağılımlarına yönelik bir hesap yöntemi geliştirilmiştir. Kirsch'in bağıntılarında hidrostatik koşullar dışında farklı birincil gerilme dağılımları da konu edildiği ve sonsuz bir ortam içerisinde oluşturulan delik incelendiği için kaya mekanikçiler tarafından yaygın ilgi görmüştür. Kirsch'in bağıntısı yalnızca dairesel kesitte tünelleri kapsadığı için farklı kesitteki yeraltı açıklıklarına yönelik analitik

çözümlemelerin de geliştirilmesine ihtiyaç duyulmuştu. Bu kapsamda eliptik açıklıkların etrafındaki gerilme analizi bağıntılarını öneren Sovyet bilim adamı Gury Vasilievich Kolosov'un 1909 yılında geliştirdiği denklem analitik kaya mekaniğinde ilgi görmüştür. A.B.D.'li Martin Greenspan ovaloidal (iki cephede dairesel, iki cephede düz kenarlı) şekilli açıklıklar için 1944 yılında kendi denklemlerini geliştirmiştir. Yeraltı kazılarında kullanılan dikdörtgen kesitler, atnalı kesitleri de içeren farklı açıklık geometrileri için Sovyet Bilim adamı Gurii Nikolaevich Savin'in 1951 yılında yayınladığı denklemleri yeraltı kazılarının analitik yöntemlerle tasarımı konusunda yeni imkanlar sağlamıştır.

20. yüzyılın üçüncü çeyreğinde tasman hesapları, paralel tüp tünellerin birbirleri etrafında oluşan gerilmelere etkileri, dik kesişen tüneller etrafında oluşan ikincil gerilme dağılımları konusunda analitik yöntemler çalışılmıştır. Tahkimat reaksiyonları ve tahkimat-zemin etkileşimleri konularında yine geçen yüzyılın üçüncü çeyreğinde önemli çalışmalar yapılmış ve ilerlemeler sağlanmıştır. Gerilme kontrollü duraysızlıkların yanı sıra yapısal kontrollü duraysızlıklara yönelik blok denge analizlerinde 1940'lar ve sonrasında aktif çalışılmıştır.

Kayma analizi yöntemleri önce grafik yöntemler olmak üzere günümüze kadar çeşitlenerek hızla geliştirilmiştir. Geotekniğin çoğu konusunda olduğu gibi burada da Terzaghi'nin çalışmaları şev kayma mekaniğinin anlaşılmasında büyük rol oynamıştır. 20. yüzyılın üçüncü çeyreğindeki önemli araştırmaların bir bölümü Londra'da Imperial

Koleji İnşaat Mühendisliği bölümünde çalışan Sir Alec Skempton ve Alan Wilfred Bishop'un yönetiminde yapılmıştır. Yine bir Imperial Kolej mensubu Evert Hoek, kariyerinin çoğunu Kanada'da geçirmiş olsa da Imperial Kolej bünyesindeki Kraliyet Madencilik Okulu yıllarında muhtemelen en verimli çalışmalarına imza atmıştır. Evert Hoek'un kendi ifadesine göre İngiltere'deki yıllarında Kraliyet Madencilik Okulu'na farklı ülkelerden çok sayıda danışmanlık işi gelmiş, o zamanlar çok hakim olmadımı söylediği konularda dahi kendisine danışmanlık işleri verilmiştir. Çünkü o yıllarda konunun uzmanını bulmak çok güçtür. Bu dönem saha tecrübelerini artırdığı ve bu yolla başta iyi bilmediği şey stabilitesini iş ala ala öğrendiğini açık sözlülükle yazmaktadır. Kaya Mühendisliği'nde analitik yöntemlere en hakim kişilerden biri de efsane isim Edwin Ted Brown'dur. Brown aynı zamanda Hoek'un da çalışma arkadaşıdır ve bir dönem Kraliyet Madencilik Okulu'nda dekanlığı görevini de üstlenmiştir. Ted Brown aynı zamanda 1983-1987 yıllarında Uluslararası Kaya Mekaniği ve Kaya Mühendisliği Birliği'nin (ISRM) de başkanlığını yapmıştır. Yine İngiliz ekolünden gelen, Hoek ve Brown ile ortak çalışmaları da bulunan J.W. Bray ve B.H.G. Brady de analitik kaya mekaniği çözümlmelerine önemli katkı sağlayan bilim adamlarındandır. 20. yüzyılın üçüncü çeyreği kaya mühendisliği tasarımlarında analitik yöntemlerin en hızlı geliştiği dönem olarak özetlenebilir.

20. yüzyılın son çeyreğinde numerik modelleme yöntemlerinin kaya mühendisliğine girmesi, bilgisayar yazılımları geliştirilmesi ve yaygınlaşması tasarım yöntemlerinin sayısını artırarak analitik

yöntem çalışmalarına görece ilgiyi azaltmıştır. Numerik yöntemlerin yaygınlaşmaya başlamadığı dönemlerde kaya mekanikçilerin analitik yöntemlere ilgi gösterdiği görülmektedir. Bugün numerik analizler popüler olsa da bulguların farklı yöntemlerle sınanması açısından analitik yöntemlerin de kullanımından vazgeçmemek gerektiği ifade edilmelidir.

Bir diğer tasarım metodu olan fiziksel modelleme uygulamada incelenen yapı ve sistemlerin farklı boyutlarda küçültülerek temsil edilmesidir. Fiziksel modeller üzerine yapay olarak deneysel koşullar ile incelenen etkinin sağlanması yolu ile tasarımı etkileyen parametrelerin duraylılık üzerindeki etkileri, duraylılığı etkileyen faktörler ve uygulama alanının mühendislik özellikleri incelenebilmektedir. Arazi gerilmelerinin ve kaya kütlesi özelliklerinin yansıtılması açısından boyut etkisi, yapay yükleme koşulları gibi pek çok titizlikle üzerinde durulması gereken nokta vardır. Fiziksel modelleme yolu ile tasarım antik çağlardan günümüze ulaşan çok eski bir tasarım yöntemi olup günümüzde kullanımı geçmişe nazaran azalmış durumdadır. 150 yıl öncesine gidildiğinde bugün kullanılan analitik, numerik ve ampirik yöntemlerin olmadığı görülür. Bu dönemden önce kaya mühendisliği yapılarının bilimsel bir yöntemle bağlı olarak tasarlandığına dair günümüzde bir kanıt mevcut değildir. Büyük olasılıkla ustaların kişisel tecrübeleri, içgüdü ve öngörülleri, çoğu bilimsel olmayan kalıplaşmış bilgiler ışığında çoğu tasarım gerçekleştirilmekteydi. Ancak, eski uygarlıkların mühendislik ve teknoloji alanında neler bildikleri konusunda günümüzde kesin bir

bilgi yoktur. Roma dönemindekiler gibi bazı büyük kaya mühendisliği yapıları o dönem kullanılan çeşitli stabilite hesap yöntemlerinin varolduğunu düşündürmektedir. Kaya kütle özelliklerinin iyi anlaşılması, modern kaya mekaniğinin temel prensiplerinin keşfedilmemiş ve tasarım yöntemlerinin geliştirilmemiş olmasından kaynaklı günümüzde imalatı mümkün çoğu kaya mühendisliği yapısının inşa edilmesi geçmişte mümkün değildi. Özellikle 19. yüzyıl ve önceki dönemlerde inşasına başlanılmış ama yaşanan göçük ve stabilite problemleri nedeni ile tamamlanamamış kazılar, birçok gerçekleştirilemeyen tünel projesi mevcuttur. Son 150 yıl boyunca tasarım yöntemlerinin ve teknolojinin geliştirilmesinin bir sonucu olarak günümüzde her koşulda zemin ve kaya kütlelerinde tünel projelerinin hayata geçirilmesi ve insanların hizmetine sunulması mümkündür.

## **Kaynaklar**

Adamson, D., 1995. Blaise Pascal: Mathematician, Physicist and Thinker about God. St. Martin's Press, New York, 297 s.

Akatay, H.S., 2003. Terkos su pompa istasyonu rölöve, restitüsyon, restorasyon projeleri. İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 87 s.

Antonio, J., Ubierna, J., 1998. Tunnel Heritage in Spain: Roots of the Underground. Tunnelling and Underground Space Technology, 13(2), 131-141.

Appleton, E., 1944. Scientific research: fundamentals of its application to rock mechanics. South African Mining & Engineering Journal, 55(1), 519-520.

Arioğlu, E., Yüksel A., Yılmaz A.O., 2008, Püskürtme beton bilgi föyleri-Çözümlü problemler, TMMOB Maden Mühendisleri Odası, İstanbul, 296 p.

Arnold, D., 2016. Rock engineering history. <https://www.sanire.co.za/news23/latest-news/445-rock-engineering-history-4>

BASF, 2009. Solutions for tunnelling and mining injections (Broschure of injection products), Zurich, 12 p.

Bauer, S.W., 2016. Batı Biliminin Öyküsü (çeviri: Moralı, M.), Alfa Yayınları, İstanbul, 330 s.



Baugh, G.C., Elrington, C.R., 1985. A history of the country of shropshire, Victoria country history, 11: 21-23.

Bellis, M., 2011. The history of concrete and cement, <http://inventors.about.com/library/inventors/blconcrete.htm>

Beson, J.L., 2012. Keşifler ve İcatlar (çeviri: Kula, N.). Tübitak Popüler Bilim Kitapları, Ankara, 105 s.

Bicik, M., 2012, Dünyada ilkler, Tutku, Ankara, 366 p.

Bierbaumer, A., 1913, Die Dimensionierung des Tunnelmauerwerkes, W.Engelmann, Leipzig, 101 p.

Bixby, W., 1964. The Universe of Galileo and Newton. American Heritage Publishing Co., New York, ABD

Blanks, R.F., McHenry, D., 1945. Large triaxial testing machine built by Bureau of Reclamation. Engineering News Record, 135(6), 171-172

Brown, E.T., 2011. Fifty years of the ISRM and associated progress in rock mechanics. Australian Geomechanics Journal, 46, 1-24

Bolles, E.B., 2011. Galileo'nun Buyruğu: Bilim Yazarlarından bir Derleme (Çeviri: Arık, N.). Tübitak, Ankara, Türkiye

Bruton, J.G., 1966. The History of Western Sciences. Cambridge University press, Cambridge, England

Bullock, R.L., 1974. Industry-wide trend toward all-hydraulically powered rock drill. *Mining Congress Journal*, 60, 54-65.

Bülbül, İ., 2010. Balya-Karaaydın Maden Şirketi İşçileri (1901-1922). *Balıkesir Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, Cilt 13, Sayı 24, 227-240

Carranza-Torres, C., Fairhurst, C., 2000, Application of the convergence-confinement method of tunnel design to rock masses that satisfy the Hoek-Brown failure criterion, *Tunnelling and Underground Space Technology*, 15: 187-213.

Charle, C., Verger, J., 2005. Üniversitelerin Tarihi (çeviri: Yerguz, İ.). Dost Kitabevi Yayınları, 1. Baskı, Ankara, 158 s.

Conner, C.D., 2013. Halkın Bilim Tarihi (çeviri: Kanburoğlu, Z.Ç.). Tübitak Popüler Bilim Kitapları, Ankara, 580 s.

Cook, N.G.W., 1965. The failure of rock. *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*, 2(4), 389-403.

Cook, N.G.W., Hoek, E., Pretorius, J.P.G., Ortlepp, W.D., Salamon, M.D.G., 1966. Rock mechanics applied to the study of rockbursts. *Journal of South African Institute of Mining & Metallurgy*, 66(10), 436-528

Çimen, A., 2014. Tarihi Değiştiren Bilginler, Timaş Yayınları, İstanbul, 304 s.

Çimen, A., 2014. Tarihi Değiştiren İcatlar ve Mucitler. Timaş Yayınları, İstanbul, Türkiye

Crafton, I., 2010. Science without the boring bits. Quercus Publishing Co., England

Crew, H., Salvio, A., 1933. Dialogues on Two New Sciences (English Translation). Northwestern University, Evanston, USA.

Davis, R.L., 1979. Split-set Rock Bolt Analysis. Int J Rock Mech Min Sci & Geomech Abstr, 16, 1-10.

DEEDI (Department of employment, economic development and innovation, Queensland Government), 2010. “The Use of Polymeric Chemicals in Queensland Coal Mines”, Technical Report, 22 p.

Ellyard, D., 2017. Kim Neyi Ne Zaman İcat Etti (çeviri: Mutlu, U.). Tübitak Popüler Bilim Kitapları, Ankara, 316 s.

Erdoğan, S.T., Erdoğan, T.Y., 2007. Bağlayıcı Malzemelerin Ve Betonun Onbin Yıllık Tarihi. ODTU Yayıncılık, Ankara, 241 s.

Fairhurst, C., 2013. My career in rock mechanics; Part 2: How i came into rock mechanics. ARMA e-Newsletter Issue 10

Frank, T., 2010. An Economic History of Rome. Cosimo Classics, New York.

Gardlund, T., Janelid, I., Ramstrom, D., Lindblad, H., 1974. Atlas Copco 1873-1973. Atlas Copco AB, Stockholm.

Gardner, F.J., 1971. History of rock bolting, Symposium on Rock Bolting, The Australasian Institute of Mining and Metallurgy, Illawarra Branch, Paper No. 2, 11.

Gerçek, H., 2007. Poisson's ratio values for rocks. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 44 (1), 1-13

Gerçek, H., 2016. The past revisited: The giants behind the elastic solutions for stresses around underground openings. Proceedings of Eurock 2016, Nevşehir, Türkiye, 409-414

Golder, H.Q., Akroyd, T.N.W., 1954. An apparatus for triaxial-compression tests at high pressures. Géotechnique, 4(4), 131-136.

Goodman, R. E. 1966. On the distribution of stresses around circular tunnels in non-homogeneous rocks. Proceedings of 1st Congress of International Society for Rock Mechanics, Lisbon, 25 September - 1 October, 2, 249-255

Gürüz, K., 2003. Dünyada ve Türkiye’de Yükseköğretim Tarihi ve Bugünkü sevk ve idare sistemleri. Cem Web Ofset, 2. Baskı, Ankara, 334 s.

Habib, P., 1950. Détermination du module d'élasticité des roches en place. Annales de l'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics, No 145, 27-35

Habib, P., Marchand, R., 1952. Mesures des pressions de terrains par l'essai de vérin plat. Suppléments aux Annales de l'Institut Technique

du Bâtiment et des Travaux Publics, Série Sols et Foundations, No 58, 967-971

Hassell, R., Villaescusa, E., 2005. Overcoring Techniques to Assess in Situ Corrosion of Galvanised Friction Bolts, Proceedings of 24th International Conference on Ground Control in Mining. Morgantown, WV, USA, pp 349-356.

Helsey, R.W., Strange, W.C., 2008, A game-theoretical analysis of skyscrapers ,Journal of Urban Economics, 64: 49-64.

Henry, J., 2016. Bilimsel Düşüncenin Kısa Tarihi (çeviri: Şengel, A.M.), Akılçelen Kitaplar Yayınevi, Ankara, 457 s.

Hill, F.G., 1954. An investigation of the problem of rockbursts; an operational research project. Journal of Chemical, Metallurgical & Mining Society of South Africa, 55, 63-83

Hill, F.G. 1966. Preface to “Rock Mechanics applied to the study of rockbursts”. Journal of South African Institute of Mining & Metallurgy, 66(10), 435

Hoek, E., 1964. Fracture of anisotropic rock. Journal of South African Institute of Mining & Metallurgy, 64(10), 501-518

Hoek, E., 2006. Kaya Mühendisliği (Turkish translation of “Rock Engineering”). Publication of The Chambers of Mining Engineers of Turkey, Ankara

Holter, K.G., 2014. Loads on sprayed waterproof tunnel linings in jointed hard rock: A study based on Norwegian cases. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 47, 1003-1020.

Holter, K.G., Hognestad, H.O., 2012. Modern pre-injection in underground construction with rapid-setting microcements and colloidal silica – applications in conventional and TBM-tunnelling, *Geomechanics and Tunnelling*, 5 ,1: 49-56.

Hutchinson, D.J., 1996. Diederichs MS. Cablebolting in underground mines. Bitech, Vancouver.

Hyett, A.J., Bawden, W.F., Coulson, A.L., 1992. Physical and mechanical properties of normal Portland cement pertaining to fully grouted cable bolts, In: *Rock support in mining and underground construction*. Balkema, Rotterdam, pp 341-348.

Jager, A.J., 1992. Two new support units for the control of rockburst damage, In: *Proc. Int. Symp. on Rock Support in Mining and Underground Construction*. A.A. Balkema, Rotterdam, pp 621-631.

James, I., 2017. Büyük Mühendisler, Riquet'den Shannon'a (çeviri: Dalar, Y.A.). *Türkiye İş Bankası Kültür Yayınları*, İstanbul, 310 s.

John, K.W., 1962. An approach to rock mechanics. *Journal of Soil Mechanics & Foundations Division, A.S.C.E.*, 88(SM4), 1-30

Judd, W.R., (ed.) 1964. *State of stress in the Earth's crust*. American Elsevier, New York

Kaiser, P.K., Yazici, S., Nosé, J., 1992. Effect of stress change on the bond strength of fully grouted cables. *Int J Rock Mech Min Sci Geomech Abstr*, 29, 293-306.

Karakuş, F., 2019. İstanbul'daki Osmanlı Dönemi Tarihi Su Sistemlerinin incelenmesi. *Türk Hidrolik Dergisi*, Cilt: 3 (1), 14- 30.

Kemp, J.B., 2005, *Ancient Egypt*, Routledge, 159 p.

Kovari, K., 2003a, History of the sprayed concrete lining method-part I: milestones up to the 1960s, *Tunnelling and Underground Space Technology*, 18: 57-69.

Kovari, K., 2003b, History of the sprayed concrete lining method-part II: milestones up to the 1960s, *Tunnelling and Underground Space Technology*, 18: 71-83.

Kömürlü, E., 2016. Kaya Mekaniğinin Akademide Kuruluşu, *Madencilik Türkiye*, 59, 98-110

Kömürlü, E., 2018. Üniversitelerde Madencilik Bölümlerinin Kuruluş Tarihesine Toplu Bir Bakış. *Madencilik Türkiye*, 69, 122-124

Kömürlü, E., 2019. 1960'lara kadar Türkiye'de İlk Üniversitelerin Kuruluşları. *Üniversite Araştırmaları Dergisi*, 2, 35-42

Kömürlü, E., 2020. Osmanlı Döneminde Taş Kömürü Madenciliğinin Başlaması. 3. Türkiye Tarihi Madenler Konferansı Bildirileri, Trabzon, 19-24

Kömürlü, E., Kesimal, A., 2011. Polimer fiber katkının tünelticilikte kullanılan püskürtme beton tahkimatı üzerindeki etkileri, 10. Bölgesel Kaya Mekaniği Sempozyumu (KAYAMEK'2011) Bildiriler kitabı, pp. 47-55, Ankara, Türkiye

Kömürlü, E., Kesimal, A., 2012. New engineering materials for underground constructions, 16. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi (IMMC 2012) bildiriler kitabı, pp. 307-319, İstanbul, Türkiye

Kömürlü, E., Kesimal, A., 2013. Geçmişten günümüze tünelticilik ve tahkimat malzemeleri. Bilimsel Madencilik Dergisi, 52, 33-47.

Komurlu, E., Kesimal, A., 2013. New Support Materials for Forepoling and Umbrella Applications, In: Proceedings of 3rd International Symposium on Underground Excavations for Transportation, Istanbul, Turkey, 423-435.

Komurlu, E., Kesimal, A., 2014. Improved Performance of Rock Bolts using Sprayed Polyurea Coating. Rock Mechanics and Rock Engineering, 48, 2179-2182

Kömürlü, E., Kesimal A., Bekar, H., 2013, Uçucu kül katkının çelik lifli betonun eğilme dayanımı üzerindeki etkileri. Türkiye Uluslararası 23. Madencilik Kongresi ve Sergisi (IMCET 2013) bildiriler kitabı, s. 1017-1024, Antalya, Türkiye

Kömürlü, E., Özkan, F.S., 2016. 2000 yaşında bir Mega Yapı: Titus Tüneli. Tünel Teknolojisi, 5, 28-31



Landels, J.G., 2000. Engineering in the Ancient World. University of California Press, Berkeley

Lecourt, D., 2013. Bilim Felsefesi (Çeviri: Işık Ergüden). Dost Kitabevi Yayınları, Ankara, Türkiye

Li, C., Lindblad, K., 1999. Corrosivity classification of the underground environment, In: Rock Support and Reinforcement Practice in Mining (Ed. by Villaescusa, Windsor and Thompson). Rotterdam, AA Balkema, pp 69-76.

Li, C.C., Stjern, G., Myrvang, A., 2014. A review on the performance of conventional and energy-absorbing rockbolts. Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering, 6, 315-327.

Li, Z., 2011, Advanced Concrete Technology, John Wiley & Sons, New Jersey, 624 p.

Li, S., Vatanparast, R., Lemmetyinen, H., 2000. Cross-linking kinetics and swelling behaviour of aliphatic polyurethane, Polymer, 41: 5571-5576.

Mayer, A., Habib, P., Marchand, R., 1951. Mesure en place des pressions de terrains. Proceedings Conference Internationale sur les Pressions de Terrains et le Soutènement dans les Chantiers d'Exploration, Liège, 24-28, April, 217-221

McClellan, J., Dorn, H., 2014. Dünya Tarihinde Bilim ve Teknoloji (çeviri: Yalçın, H.). Akılçelen Kitaplar Yayınevi, Ankara, 462.

Merivale, J.H., 1888, Notes and Formulas for Mining Students, Crosby Lockwood & Son, London, 157 p.

Mielenz, R.C., 1984, History of chemical admixtures of concrete, Concrete International, 6: 40-53

Müller, L., 1967a. Address to the Opening Session. Proceedings 1st Congress, International Society for Rock Mechanics, Lisbon, 25 September – 1 October, 1966, 3: 80-83. Lisbon

Müller, L., 1967b. Address to the Closing Session. Proceedings 1st Congress, International Society for Rock Mechanics, Lisbon, 25 September – 1 October, 1966, 3: 90-92. Lisbon

Müller, L., 1979. Josef Stini: contributions to engineering geology and slope movement investigations. In: Rockslides and Avalanches (Edited by Voight, B.), Elsevier, Amsterdam

Muller, L., 1990. Removing the misconceptions on the New Austrian Tunnelling Method. Tunnels & Tunnelling, 22, 15-18.

Muynck, W.D., Belie, N.D., Verstraete, W., 2009. Effectiveness of admixtures, surface treatments and antimicrobial compounds against biogenic sulfuric acid corrosion of concrete. Cement and Concrete Composites, 31, 163-170.

Nelson, E.T., 1986. Automated temporary roof support system for mining equipment. United States Patent, Patent Number: 4595316

Obert, L., Duvall, W.I., 1967. Rock Mechanics and the Design of Structures in Rock. John Wiley, New York

Öztürk, H., 2011, Püskürtülen ince kaplamaların elastik malzeme özellikleri, Madencilik, 50: 41-45

Ozturk, H., 2012. Püskürtülen İnce Kaplamaların Elastik Özellikleri, Madencilik, 50, 41-45.

Öztürk, H., Tannant, D.D., 2010, Thin spray-on liner adhesive strength test method and effect of liner thickness on adhesion. International Journal of Rock Mechanics and Mining Science, 47: 808-815.

Özüdogru, K., 2000. Yaşadıkça Öğrenmek: Karl Terzaghi'nin Hayatı. IMO İstanbul şubesi, İstanbul, Türkiye

Pacher, F., 1964. Deformationsmessungen im Versuchstollen als Mittel zur Erforschung des Gebirgsverhaltens und zur Bemessung des Ausbaues. Rock Mechanics & Engineering Geology, 4, 149-161

Parry, D., 2013. Engineering ancient world. The History Press, Gloucestershire.

Perez, H.T., 1952. Tunneling costs drop way down when bolts hold up tunnel roof. Constr Methods Equipment, March: 48.

Rabcewicz, L., 1969. Stability of tunnels under rock load. Water Power, 21(6), 225-229

Rabcewicz, L., Golser, J., 1973. Principles of dimensioning the supporting system for the “New Austrian Tunnelling Method”. Water Power, March, 88-93.

Ranasooriya, J., Richardson, G.W., Yap, L.C., 1995. Corrosion Behaviour of Friction Rock Stabilisers Used in Underground Mines in Western Australia, 6th AusIMM Underground Operators Conference. Kalgoorlie, Australia, pp 9-16.

Rankie, W.J.M., 1843. On the causes of the unexpected breakage of the journals of railway axles;and on the means of preventing such accidents by observing the law of continuity in their construction. Min. Proc. Inst. Civ. Engineers, 2, 105-108

Rocha, M., Serafim, J.L., Silveira, A., Neto, J.R., 1955. Deformability of foundation rocks. Proceedings of 5th International Congress on Large Dams, Paris, R75, 3, 531-559

Roberts, A., 1963. Editorial. International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, 1(1), 3-4

Roland, G., Claudine, B., 1997, The Canal du Midi (İngilizce tercümesi), MSM, Houston, 113 p.

Saraç, C., 1971. Pozitif İyonya Bilimi. Ege Üniversitesi Arkeoloji Enstitüsü Yayınları

Sandstrom, G.E., 1963. The history of tunnelling. Barrie and Rockliti, London.

Scott, J.J., 1974. Friction rock stabilizers and their application to ground control problems. AIME-SME Fall Meeting.

Scott, J.J., 1981. Ground control technology transfer problems in metal and coal mines of the USA, 22nd U.S. Symposium on Rock Mechanics, pp 518-523.

Stauffer, D.M., 1906. Modern tunnel practice. Archibald Constable and Co Ltd, London.

Snyder, E., 1996, Brooklyn: An illustrated history, The Booklyn Historical Society, New York, 255 p.

Stephan, A., Frohlich, A., Klupfel, A., 1918, Verfahren zum abfangen und sichern des hangenden und der stosse im bergbau ohne stutzung von unten. Patentschrift Nr. 302909, Klasse 5c. Gruppe 4, Pat 25. Juli 1913y Ausgegeben 7. Januar 1918, Kaiserliches Patentamt Berlin.

Stini, J. 1922. Technische Geologie. Ferdinand Enke, Stuttgart

Ucuncuoglu, A., Komurlu, E., 2015. Osmanlı Dönemi Gümüşhane İli Madencilik Tarihine Genel Bir Bakış. 1. Türkiye Tarihi Madenler Konferansı Bildirileri, Trabzon, 99-105

Talobre, J., 1957. La Mécanique des Roches. Dunod, Paris

Tannant, D.D., 2001, Thin Spray-on Liners for Underground Rock Support, 17th International Mining Congress and Exhibition of Turkey(IMCET 2001), pp. 57-73, Ankara, Türkiye

Terzaghi, K., 1962a. Stability of steep slopes on hard unweathered rock. *Géotechnique*, 12(4), 251-270

Terzaghi, K., 1962b. Measurement of stresses in rock. *Géotechnique*, 12(2), 105-124

Terzaghi, K., Proctor, R.V. ve White, T.L., 1946, *Rock Tunneling with Steel Supports*, CSS Co.

Tez, Z., 2008. *Fiziğin Kültürel Tarihi*. Doruk Yayıncılık, İstanbul, 301 s.

Timoshenko, S.P., 1953. *History of Strength of Materials*. McGraw-Hill, New York

Tomassetti, B., Giorgi, F., Verdecchia, M., Visconti, G., 2003. Regional model simulation of the hydrometeorological effects of the Fucino Lake on the surrounding region. *Annales Geophysicae*, 21, 2219–2232

Toth, L., Rosmanith, H.P., Siewert T.A., 2002. Historical background and development of the Charpy test. In: *From Charpy to Present Impact Testing* (Edited by Francois & Pineau), Elsevier, Netherland, pp. 3-19

Tully, D.M., 1987. *Rock bolt reinforcement systems for coal mine roadways*. University of Newcastle upon Tyne, PhD Thesis.

Turchaninov, I.A., Iofis, M.A., Kasparyan, E.V., 1979. Principles of Rock Mechanics (Translated from Russian by A. L. Peabody; translation edited by W. A. Hustrulid). MD: Terraspace, Rockville

URL1: [https://en.wikipedia.org/wiki/Blaise\\_Pascal](https://en.wikipedia.org/wiki/Blaise_Pascal). Erişim tarihi: 14. 11. 2022

URL2: <https://www.moment-expo.com/tr/dergiler/114/makine-tarihi>. Erişim tarihi: 23.11.2022

Usta, N., Tuzcu, H., Atlıhan A.B. 2009. Poliüretan Esaslı Malzemelerde Alevsiz Yanma, Putech Poliüretan Sanayi Dergisi, 2: 56-60.

Van, C.L., 2008. Numerical analysis of the interaction between rockbolts and rock mass for coal mine drifts in Vietnam, PhD Thesis, TU Bergakademie Freiberg, Freiberg, Germany, 182 p.

Wahlstorm, E., 1973, Tunneling in Rock, Elsevier, Amsterdam, 250 p.

West, G., 1988. Innovation and the rise of the tunnelling industry. Cambridge University Press, Cambridge.

Windsor, C.R., 1992. Cable bolting for underground and surface excavations. Rock support in mining and underground construction, Int. symp. on rock support. Balkema, Rotterdam, pp 349-376.

Wootton, D., 2019. Bilimin icadı, Bilim Devrimi'nin Yeni bir Tarihi (çeviri: Elhüseyni, N.). Yapı Kredi Yayınları, İstanbul, 679 s.

Yazici, S., Kaiser, P.K., 1992. Bond strength of grouted cable bolts. *Int J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr*, 29, 279-292.

Yıldırım, C., 1979. *Bilim Felsefesi*. Remzi Kitabevi, İstanbul, Türkiye

Yıldırım, C., 2013. *Bilim Tarihi*. Remzi Kitabevi, İstanbul, Türkiye

Yannopoulos, S.I., Lyberatos, G., Theodossiou, N., Li, W., Valipour, M., Tamburrino, A., Angelakis, A.N., 2015. Evolution of Water Lifting Devices (Pumps) over the Centuries Worldwide. *Water*, 7, 5031-5060.

Zienkiewicz, O.C., Cheung, Y.K., 1964. Buttress dams on complex rock foundations. *Water Power*, 16(5), 193-217





## Yazar Hakkında

Eren Kömürlü 2010 yılında Hacettepe Üniversitesi Maden Mühendisliği bölümünden mezun olmuştur. Yüksek lisans ve doktora derecelerini sırasıyla 2012 ve 2016 yıllarında Karadeniz Teknik  niversitesi'nden alan Kömürlü 2014-2015 yıllarında Queensland Üniversitesi Geoteknik Mühendisliği Merkezi'nde bir yıl süreyle misafir doktora  ğrencisi olarak bulunmuştur. 2016-2018 yılları arasında Karadeniz Teknik Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümünde doktora sonrası araştırmalar yapmış, ardından Giresun Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümünde 2018-2020 yıllarında Dr. Öğr. Üyesi olarak çalışmıştır. 2020 yılından bu yana Doçent kadrosunda Giresun  niversitesi'ndeki akademik görevine devam etmektedir.

Araştırma alanı kaya mekaniği, tünelcilik ve tahkimat tasarımı, yeraltı madenlerinin stabilite sorunları ve kaya mühendisliğinde yeni tahkimat malzemeleridir. Farklı mühendislik polimerlerinin kaya kütleleri için tahkimat ve güçlendirme malzemesi olarak kullanımı konusundaki çalışmaları ile üç uluslararası ve iki ulusal ödüle sahibidir. Çoğu uluslararası olan 80 üzerinde bilimsel makale ve bildirinin yazarıdır. Farklı bilimsel araştırma projelerinde, saha çalışmaları ve geoteknik danışmanlık projelerinde görev yapmaktadır. Tarihi kaya mühendisliği yapılarının korunması, geoteknik ve maden mühendisliği tarihi ilgi duyduğu diğer konulardır. 2018 yılından bu yana Giresun  niversitesi'nde geoteknik anabilim dalı başkanı ve inşaat mühendisliği bölüm başkan yardımcısı olarak görev almaktadır.

**ISBN: 978-605-72270-2-7**

