

Demiryollarında Zemin İyileştirilmesinde Novocrete® Uygulamaları

Özkan CORUK, Aydın KAVAK, Adnan AYDINER

Giriş:

Dinamik ve statik yükler etkisindeki üst yapıların taşıyıcı sistemleri olan temel ve alttemel tabakalarının şartnamelerde tanımlanan mühendislik özelliklerine ulaştırılması, kullanılabilirlik ve taşıma gücü özelliklerinin artırılması genel anlamı ile zeminlerin iyileştirilmesi ve/veya stabilizasyonu olarak tanımlanmaktadır. NovoCrete® teknolojisi ile çimento stabilizasyonu zayıf zeminlerin yerinde iyileştirilmesinde kullanılan yeni yöntemlerden biridir. Bu yöntemde, belli fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip toz halinde puzolonik, saf ve bağlayıcı nitelikli mineral özelliğine sahip NovoCrete® mevcut zeminin çimento ile birlikte reaksiyona girmesini sağlar. Böylece bu teknoloji sayesinde uygulama derinliğine göre, belirli kalınlığa sahip dayanımlı, esnek, geçirimsiz, homojen ve şartname ve/veya standartlarda istenilen mühendislik özelliklere sahip yerinde iyileştirilmiş bir zemin tabakası imal edilir.

NovoCrete® teknolojisi ile çimento stabilizasyonu demiryolu, karayolu ve otoyollarda şartnamelere göre düşük mühendislik özellikleri ve dayanım ölçütlerine sahip yol altyapısını oluşturan doğal veya dolgu taban zemin tabakalarının kullanılabilirlik ve taşıma gücü özelliklerini artırır. Ayrıca yol üstyapısındaki subbalast, alttemel, temel tabakalarında da yerindeki zeminlerin veya dışarıdan getirilen zayıf zeminlerin iyileştirilerek yol üstyapısında tanımlanan alttemel ve temel tabakası olarak kullanılabilmesini sağlar. Bu amaçla birçok ülkede yaygın olarak kullanılmaktadır.

Ülkemizde, *“Ankara Büyükşehir Belediyesi, Batıkent-Ostim, Melih Gökçek Bulvarı 1940 Cadde Altyapı İyileştirme Projesi/Yerinde Geri Dönüşüm Uygulaması”, “Ankara-Gölbaşı-Kaman-Kayseri Karayolu Bala İlçe Ge-*

çişi Zemindeki Mevcut Sathi Kaplama Yerinde Bırakılarak, Alt Yapı İyileştirme Projesi” ve “Tekirdağ, Çerkezköy Kapaklı-Saray Karayolunda Roadmix Kaplı Sathi Kaplama Yolun Yerinde Altyapı İyileştirme Projesi” gibi karayolu projelerinde uygulanmıştır. Demiryolu projeleri kapsamında ise *“TCDD Irmak-Karabük-Zonguldak Demiryolu Hattı Rehabilitasyonu ve Sinyalizasyonu Projesinde”* Çaycuma istasyon sahasında zayıf zeminlerin iyileştirilmesinde, *“TCDD Denizli- Afyonkarahisar Bozkurt-Dinar Demiryolu Hat Yenileme Projesinde”* hattın yaklaşık 29 kilometrelik kısmında, NovoCrete® teknolojisi uygulanmıştır. *“TCDD Samsun-Kalın Demiryolu Modernizasyonu Projesi”* kapsamında ise NovoCrete® teknolojisi ile yerinde zemin iyileştirmesi uygulamaları devam etmektedir. Bu çalışmada ülkemizdeki demiryolu projelerindeki uygulamalar hakkında bilgiler sunulmuştur.

2. Tanım ve Uygulama Yöntemleri

NovoCrete® mevcut zemin ile çimentonun birleşimini sağlayan, %100 saf mineral içerikli, alkalin ve toprak alkalin grubundaki doğal oksitler, sülfatlar ve karbonat mineralleri içeren granüler, doğal bir malzemedir. Zeminin optimum su muhtevasında portland çimentosu ile birleştiğinde kristalleşmeyi ve puzolonik reaksiyonu artırır. Uygulama arazide parçalayıcı ve bağlayıcı makinalarla, arazi ve laboratuvar sonuçları takip edilerek yapılmaktadır. Yerinde iyileştirilen tabaka kalınlığı 25 cm ile 45 cm arasında değişmektedir. Genelde 35 cm tabaka kalınlığı tercih edilir. Eğer daha kalın zemin istifinde ve/veya daha yüksek dayanım değerlerine ulaşmak gerekir ise sandviç adı verilen tekrarlı tabaka tasarımları uygulanmaktadır.

Çimento miktarı, zeminin kuru birim hacim ağırlığının %8 ile %12’u arasında değişmektedir. Proje ölçütleri ve şartname gerekliliklerine

göre dayanım ve diğer mühendislik özelliklerinin belirlenmesine dönük deneyler sonrası çimento oranı belirlenir bu oran çoğunlukla %10 dolayındadır. NovoCrete® çimento miktarının ağırlıkça %2 oranında kullanılır. Uygulamada iyileştirme yapılacak zemin üzerine belirlenen oranda çimento ve daha sonra çimentonun %2 oranında NovoCrete® serilir. Daha sonra iyileştirme derinliğine veya iyileştirilecek tabaka kalınlığına göre frezeleme yüksekliği ayarlanan yüksek kapasiteli özel makinelerle zemin üzerine serilen çimento ve NovoCrete® zeminle yüksek hız ve devirde optimum su muhtevasında karıştırılır. Karışım frezeleme sonrası, önce keçi ayak silindir ile sıkıştırılır, tabaka greyder ile tesviye edildikten sonra düz silindirle 2 pas tekrar sıkıştırılır.

Kristalleşme, kür ve puzolonik reaksiyonu desteklemek amacıyla ve hava koşulları da dikkate alınarak sulama işlemi gerçekleştirilir. Böylelikle %100 homojen bir karışım sağlanarak planlanan kalınlıkta esnek homojen, daha yüksek dayanım değerlerine sahip ve geçirimsiz bir tabaka oluşturulur. Bu teknolojiyle nakliye masraflarını önemli ölçüde düşürerek proje tasarımında istenilen ölçütlerde iyileştirilmiş zemin tabakası esnek bir yapı kazanır ve NovoCrete® katkısı ile birbiri ile bağdaşmayan malzemelerin birbiri ile bağlanması da sağlanır.

3. Ülkemizde Demiryolları Projelerinde NovoCrete® Teknolojisi ile Zemin İyileştirme Çalışmaları

Ülkemizdeki Demiryolu projelerinde NovoCrete® teknolojisi ile zemin iyileştirme çalışmaları ilk olarak 2013 yılında gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada Çaycuma istasyon alanında uygulama yapılmış, daha sonra 2014 yılında Denizli-Afyonkarahisar demiryolu hattının yaklaşık 29 kilometrelik kesiminde taban zeminde iyileştirme gerçekleştirilmiştir. Samsun-Kalın demiryolu hattı projesinin Zile-Kalın arasındaki kesiminde ise proje kapsamında zayıf zeminlerin yerinde NovoCrete® teknolojisi ile iyileştirme çalışması devam etmektedir. Aşağıdaki bölümlerde bu projelerdeki çalışmalara ait teknik bilgiler sunulmuştur.

TCDD Irmak-Karabük-Zonguldak Demiryolu Hattı Rehabilitasyonu ve Sinyalizasyonu Projesi

Proje kapsamında Çaycuma İstasyonunda peron boyunca iki hatta toplam 2 günde yerindeki malzeme ile hiçbir kazıma yapmadan, dışarıdan başka bir malzeme getirmeye gerek kalmadan zemindeki mevcut malzeme ile NovoCrete® teknolojisi kullanılarak iyileştirme yapılmıştır. Zemin özelliklerine göre 1 m² alanda 42 kg ile 62,5 kg arasında değişen çimento ve çimentonun %2'si kadar NovoCrete® kullanılarak tüm kesitte 35 cm kalınlığında, tam homojen tabaka imal edilmiştir. Uygulama yüksek plastisiteli (CH), ortalama %20 su muhtevasına sahip, düşük dayanımlı kil tabakasında gerçekleştirilmiştir.

İyileştirme öncesi CBR değeri %3-4 dolayında olan tabakada yerinde statik plaka yükleme deneyinde sonuç alınamamış, dinamik plaka yükleme deneyinde E_{v2} değeri 7,50 Mpa olarak ölçülmüştür. NovoCrete® teknolojisi kullanılarak gerçekleştirilen iyileştirme sonrası yaklaşık 18-36 saat sonrası yapılan arazi testlerinde dinamik plaka yükleme testlerinde $E_{v2} > 180$ Mpa değerine ulaşmıştır. Statik plaka yükleme deneylerinde E_{v2} değeri 24 ile 36 saat sonra 160 ile 490 Mpa olarak ölçülmüştür. Uygulama sonrası zemin tabakası 4 ile 6 saat gibi kısa sürede yüksek taşıma kapasitesine ulaşmış, en çok 36 saat içerisinde iyileştirilmiş bu tabaka üzerine balast tabakası serilmiş, travers ve ray döşeme işlemlerine başlanmıştır (Görüntü 1).

TCDD Denizli-Afyonkarahisar Bozkurt-Dinar Demiryolu Hat Yenileme Projesi

Proje kapsamında Bozkurt-Dinar arasında kalan yaklaşık 75 km uzunluğundaki bölümün toplam 28,88 kilometresi NovoCrete® teknolojisi kullanılarak iyileştirilmiştir. Proje kapsamında gerçekleştirilen iyileştirmenin büyük bir bölümü Acıgöl kıyısındaki yüksek-düşük plastisiteli (CH-CL), oldukça düşük dayanımlı doğal kil zemin tabakasında gerçekleştirilmiştir. Bu tabakanın CBR değerleri %2-4 dolayındadır. Yeraltı seviyesi ise çoğunlukla iyileştirme derinliği ile aynı düzeyde veya daha üzerindedir (Görüntü 2).



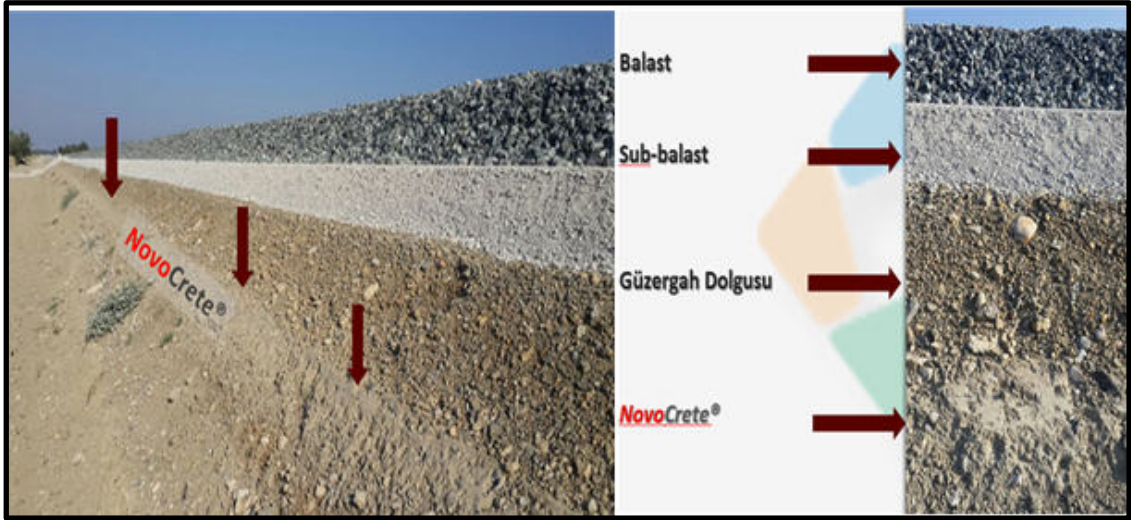
Görüntü 1: Irmak-Karabük-Zonguldak Demiryolu Hattı Rehabilitasyonu ve Sinyalizasyonu Projesi Çaycuma İstasyonu iyileştirme öncesi ve sonrası zemin tabakasının görünümü.



Görüntü 2: Denizli-Afyonkarahisar Bozkurt-Dinar Demiryolu Hat Yenileme Projesi iyileştirme öncesi ve sonrası zemin tabakasının ve yeraltı seviyesinin görünümü.

Zemin özellikleri ve yeraltı seviyesine göre 1 m² alanda 50 kg ile 56 kg arasında değişen çimento ve çimentonun %2'si kadar NovoCrete® kullanılarak tüm kesitte 35 cm kalınlığında tam homojen tabaka imal edilmiştir. İmalattan 1 gün sonra yapılan dinamik plaka yükleme testlerinde şartnamede subbalast tabakasında 60 Mpa olması istenen E_{v2} değeri iyileştirilen taban zemin tabakasında 160 Mpa değerinin üzerinde ölçülmüştür.

Yine NovoCrete® teknolojisi kullanılarak imal edilen tabakadan alınan karot numuneler üzerinde yapılan serbest basınç dayanımı deneylerinde şartnamede en az 500 kPa olması istenen serbest basınç dayanımı σ_b : 960-1140 kPa olarak belirlenmiştir. Bu tabaka üzerine ray kotuna (kırmızı kota) göre 1 veya 2 metre güzergâh dolgusu serilmiş ve sıkıştırılmıştır. Yine proje şartnamesinde belirtilen ölçütlere göre 22 cm kalınlığında subbalast ve 40 cm kalınlığında balast tabakası serilmiş travers ve raylar döşenmiştir (Görüntü 3).



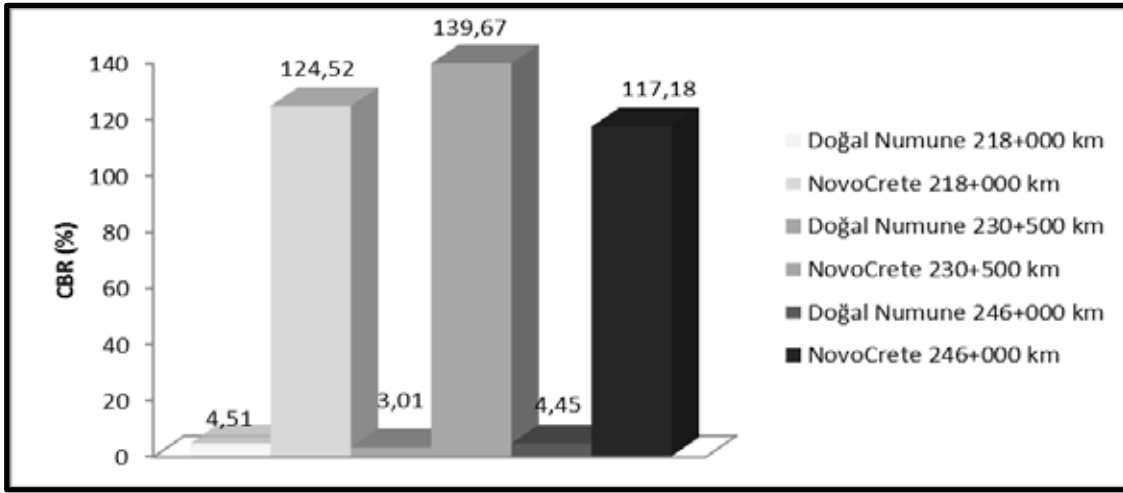
Görüntü 3: Denizli-Afyonkarahisar Bozkurt-Dinar Demiryolu Hattında NovoCrete® teknolojisi kullanılarak iyileştirme sonrası imal edilen zemin tabakası üzerindeki üstyapı tabakalarının görünümü.

TCDD Samsun-Kalın Demiryolu Modernizasyonu Projesi

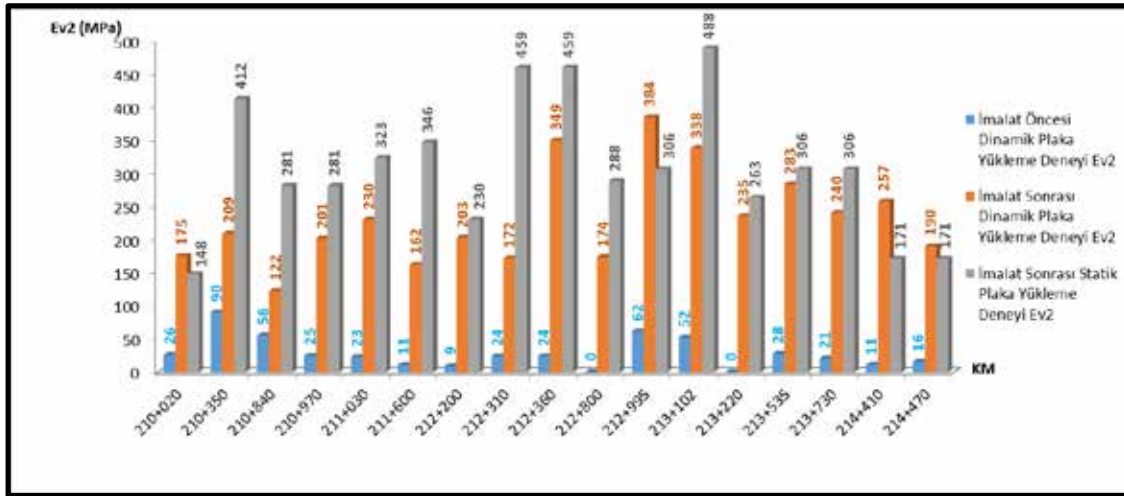
Toplam 378 km uzunluğundaki proje kapsamında Zile-Artova-Yıldızeli-Kalın arasındaki yaklaşık 60 kilometrelik kısmın değişik kesimlerinde 2,00 ve 3,00 metre kalınlıkta kaya dolgu ile öngörülen iyileştirme yerine projenin daha hızlı bir şekilde sonuçlandırılması için NovoCrete® ile çimento stabilizasyonu yapılması kararlaştırılmıştır.

Bu kesimde kalınlığı 3,00 metre ile 10,00 metre arasında değişen genelde jeolojik olarak alüvyon birimlerine ait zayıf dayanımlı kil ve killi çakıl düzeyleri vardır. NovoCrete® teknolojisi kullanılarak yapılan çimento stabilizasyonunda tabaka kalınlığı 35 cm olarak belirlenmiş ve proje kriterleri dikkate alınarak yapılan laboratuvar deneylerine göre 1 m² zemin için 60 kg çimento ve kullanılan çimento miktarının %2 oranı olan 1,12 kg NovoCrete® karışımı kullanılmıştır. Bu karışım oranlarını belirlemede öncelikle mevcut zeminin indeks özellikleri, CBR değerleri ile Proktor deneyleri sonucu belirlenen maksimum kuru birim hacim ağırlığı ve optimum su muhtevaları dikkate alınmıştır. Zemin tabakası CH ve CL sınıfında maksimum kuru birim hacim ağırlıkları 15,00 kN/m³, optimum su muhtevası %20 dolayında, CBR değerleri ise %5 değerinin altındadır (Şekil 1).

Güzergâh üzerinden bazı kesimlerden alınan mevcut zemin ile 60 kg/m² çimento ve kullanılan çimentonun %2 oranında olan NovoCrete® uygun şekilde karışım yapıldıktan sonra 7 günlük kür süreleri sonrası yapılan CBR deney sonuçları ile mevcut zeminin CBR deney sonuçları arasındaki önemli ölçüdeki artış değerleri Şekil 1'de sunulmuştur. Karışım sonrası hazırlanan numunelerin 7 günlük kür sonrası CBR değerlerinde mevcut zeminin CBR değerlerine göre önemli artışlar izlenmiştir. Uygulama sonrası dayanımdaki bu artışlar arazi deney sonuçlarında da tespit edilmiştir. Şekil 2'de KM:210+000 ile KM:215+000 arasında yapılan statik ve dinamik plaka yükleme test sonuçları karşılıklı olarak sunulmuştur. Bu kesimde imalat öncesi 9 ile 90 MPa arasında değişen E_v değerleri, imalat sonrası 122 ile 488 MPa değerlerine ulaşmıştır (Şekil 2). Benzer sonuçlar diğer kesimlerde de elde edilmiştir.



Şekil 1: Samsun-Kalın Demiryolu Modernizasyonu Projesi kapsamında güzergahta değişik kesimlerdeki zeminlerin doğal ve Zemin+ Çimento+NovoCrete® karışımının 7 günlük kür sonrası CBR değerleri.



Şekil 2: Samsun-Kalın Demiryolu Modernizasyonu Projesi kapsamında imalat öncesi ve sonrası güzergâhın değişik kesimlerdeki arazi testleri sonucu tespit edilen Ev_2 değerleri.

3. Sonuçlar

- NovoCrete® Teknolojisi kullanılarak farklı özelliklerdeki zeminlerin iyileştirilmesi sonucu imal edilen zemin tabakası yüksek dayanım değerlerine ulaşmaktadır.

- Bu teknoloji ile hem mevcut zeminin yerinden kaldırılarak taşınması hem de iyileştirmede kullanılacak daha iyi mühendislik özelliklere sahip yeni malzemenin ocaktan getirilmesine gerek kalmamaktadır. Böylece nakliye giderleri azalmakta ayrıca trafik yoğunluğunun oluşturduğu çevreye olumsuz etkiler ortadan kalkmaktadır.

-Çimento+NovoCrete® kullanılarak oluşturulan temel, alt temel veya taşıyıcı tabaka homojen, geçirimsiz, yüksek dayanımlı ve düşük deformasyon değerlerine ulaşmaktadır.

-Dünyada ve ülkemizdeki demiryolu projelerinde balast tabakası ve/veya subbalast tabakası altındaki zeminlerin iyileştirilmesinde NovoCrete® teknolojisi teknik ve ekonomik yönden olumlu uygulanabilirlik ölçütleri sunmaktadır.

- NovoCrete® teknolojisi ile yapılan zemin iyileştirmelerinin değişik zeminlerde ve değişik çimento oranlarındaki mühendislik davranışlarının tespitine dönük ARGE araştırmaları KGM,

AR-GE Dairesi denetim ve kontrolünde Kocaeli Üniversitesi, JAGS Innovative Products İnşaat Sanayi Ticaret Limited Şirketi destek ve katılımı ile tarafımızdan KGM-ARGE/2016-3 Projesi kapsamında sürdürülmektedir.

4. Kaynaklar

IA Sulieman, MA Siddig, AA Elbadawi, Structural, 2008 "Optical and Electrical properties of Novocrete Material, neelain.edu.sd

Kavak A., Coruk Ö., Aydın A., 2016, A New Binder Mineral for Cement Stabilized Road Pavement Soils World Academy of Science, Engineering and Technology, International Journal of Civil and Environmental Engineering Vol:3, No:11,

Kavak A., Baykal G. 2012. Long-term behavior of lime-stabilized kaolinite clay, Environmental Earth Science 66:1943-1955, 2012

Kavak A., Akyarlı A., 2007. A field application for lime stabilization. Engineering Geology 51-6 Pages: 987-997

Kök B., Yılmaz M., Geçgil A., 2012. Çimento Stabilizasyonlu Zeminin Esnek Üstyapı Maliyetine Etkisi, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt 18, Sayı 3, Sayfa 165-172.

Raymond N. Yonga, Vahid R. Ouhadib, 2007. Experimental study on instability of bases on natural and lime/cement-stabilized clayey soils, Applied Clay Science Volume 35, Issues 3-4, Pages 238-249



Özkan CORUK

1983 yılında İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümünü tamamlayarak, Jeoloji Mühendisi unvanını aldı. 1985 yılında yüksek lisans, 1992 yılında doktora çalışmalarını İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde tamamladı. 1984-1993 yılları arasında İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümünde araştırma görevlisi olarak çalışmıştır. 1993 yılından itibaren Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Uygulamalı Jeoloji Anabilim Dalında öğretim üyesi olarak görev yapmaktadır.

Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde danışmanlığında 2 doktora tezi, 13 yüksek lisan tezi çalışması tamamlanmıştır. 10'un üzerinde uluslararası yayın ve bildirisi 30'un üzerinde ulusal yayın ve bildirisi vardır. Ulusal ve uluslararası birçok projede danışman olarak görev almış ve almaktadır. MARMARAY, AVRASYA Tüneli (ISRCP), İstanbul-Adapazarı Hızlı Tren Projesi, Kocaeli Büyükşehir Belediyesi-Kocaeli Kuzey Toplu Taşıma Hafif Raylı Sistem Hattı (LRT) ve Tramvay Projesi, Halkalı Kapıkule Demiryolu Hattı Projesi, İstanbul Büyükşehir Belediyesi İstinye-Kâğıthane Hattı Metro Projesi danışmanlık yaptığı raylı sistem projelerinden bazılarıdır.

Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi ve Fen Bilimleri Enstitüsünde Mühendislik Jeolojisi, Kaya Mekaniği, Zemin Mekaniği, İleri Mühendislik Jeolojisi ve İleri Kaya Mekaniği derslerini vermektedir. Uluslararası Mühendislik Jeolojisi Türk Millî Komitesi En İyi Yüksek Lisans Tezi, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Hizmet Ödülü ve Uluslararası Mühendislik Jeolojisi Türk Millî Komitesi Erguvanlı Mühendislik Jeolojisi En İyi Uluslararası Makale ödülleri vardır.