

## ZEMİN İYİLEŞTİRME METOTLARI

Atila DEMİRÖZ<sup>1</sup> Mustafa KARADUMAN

Selçuk Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü

ademiroz@selcuk.edu.tr

### Özet

Bu çalışmada, arazide yapılan zemin iyileştirme metotları ayrıntılı bir biçimde incelenmiştir. Günümüzde yapılan çalışmalar, gelişmeler de dikkate alınarak anlatılmıştır. Zeminin taşıma gücü ve oturma kriterlerini sağlamadığı durumlarda, kazıklı temel uygulaması pahalı ve ekonomik olmayabilir. Bu durumda zayıf zemin tabakasında muhtelif kriterlere göre zemin iyileştirme metotlarının çoğu kez ekonomik olduğu ve bunların hangi tip zeminlerde uygulanabileceği belirtilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Zemin iyileştirmesi, taşıma gücü. Kazıklı temel, Kireç Stabilizasyonu, Oturma kriteri.

## SOIL STABILIZATION METHODS

### Abstract

In this study, the soil improvement methods applied in the field have been studied in details. Studies having done these days considering the new developments are also described. When bearing capacity and settlement criteria of soil do not mach with the desired criteria, application of pile foundation will be expensive. In this case, stabilization of soft soil layer is economic with known criteria and soil improvement methods.

**Keywords:** Soil improvement, bearing capacity, pile foundation, lime stabilization, settlement criteria.

## **1. GİRİŞ**

Zeminler üzerlerine inşa edilen yapıların temelleri altında taşıyıcı tabaka ve inşaat malzemesi olarak karşımıza çıkmaktadır. Birbirinden farklı özelliklerde ve zeminin mühendislik özellikleri de zeminin cinsi yanında arazi koşullarına bağlı olarak (sıkılık derecesi, su muhtevası, konsolidasyon basıncı, yükleme ve drenaj koşulları gibi) geniş bir aralık içinde değişmektedir Zeminler her zaman istenilen özelliklere sahip olmayabilirler. İnşaat yapılacak alanın değiştirilmesi veya istenilen özelliklere sahip olmayan zeminlerin atılarak yerine elverişli zeminlerin kullanılması ise, teknolojik ve ekonomik nedenlerle çoğu kere uygun çözümler olarak kabul edilmemektedir. Bu gibi durumlarda, arazideki zemin özelliklerden kaynaklanan sınırlamaları belirlemek ve tasarım sağlayacak şekilde zemin iyileştirilmesi, zeminin mukavemetinin artırılması sağlanırken, zeminin geçirimsizliğinin azaltılması gibi iyileştirilecek metodun benimsenmesi yoluna başvurulmaktadır.

Asıl amaç, mekanik araçlarla zeminin boşluk oranının azaltılması veya boşlukların çimento, kireç, bentonit vb. kimyasal karışımlarla doldurulmasıdır [1].

Zeminin özellikleri yeterli olmadığında, zemini iyileştirmek için;

1. Kötü zemini geçerek temelleri sağlam tabakaya oturtmak,
2. Yapı temellerini zayıf zeminin taşıyabileceği şekilde boyutlandırmak ve inşa etmek,
3. Kötü malzemeyi tamamen kaldırarak yerine sağlam zemin doldurmak, ya da doğal zemini iyileştirerek tekrar belirli sıkılıkta yerleştirmek,

4. Zeminin özelliklerini yerinde yapılan işlemlerle iyileştirmek,

şeklinde özetlenebilir. Bu makalenin amacı zemin iyileştirme yöntemlerini tanıtmaktır.

## **2. DERİN TABAKALARDA KULLANILAN İYİLEŞTİRME YÖNTEMLERİ**

### **2. 1. Patlatma Metodu**

Bu metotta gevşek zeminlerde zemini oluşturan malzemenin daha küçük parçalara dönüştürülerek sıkıştırılmasının sağlandığı bir zemin iyileştirme yöntemidir. İyileştirilecek zemin tabakaları içerisine yerleştirilen sınırlı miktarda patlayıcılar ardışık ateşlemelerle patlatılır ve bu şekilde hızlı basınç dalgaları oluşturularak zeminin sıkışması sağlanır.

Patlatma tekniği ile organik, turba ve çok yumuşak zeminlerin konsolidasyonu ve granüler zeminlerin derin kompaksiyonu yapılabilmektedir. Vibraflasyon tekniğine uygun granüler zeminlerin yer altı su seviyesi altında tam doygun olması halinde patlama tekniği ile kompaksiyonu sırasında hacimce % 6 azalış ve rölatif yoğunlukta ise % 35-% 85 artış sağlanabilmektedir. Bunun için sıkıştırılması istenilen zemin derinliğinin % 50-% 75 derinliğinde ve 3-10 m aralıklarla delikler açılıp içine 1-12 kg veya her bir m<sup>3</sup> sıkıştırılacak zemin için 10-30 gr patlayıcı konulduktan sonra patlatılır.

TNT, dinamit, vb., patlayıcıların etkin olduğu bir başka durum su altındaki gevşek zeminin 1-3 m üzerinde yapılan atımlardır. 18 m. su altındaki çakıllı kumda 2,5 m yüksekte 20 kg'lık TNT atımında yüzeyin 25 cm çökertilebildiği bildirilmiştir [2].

Lös zeminlerde arazinin su ile kaplandıktan sonra 5 kg'lık atımlar yapmaktır. Etkinin yerel olması için arsanın kenarlarına birkaç metre derinlik ve 50 cm eninde bir

hendek kazıldığı gibi, suyun derine etkiyebilmesi için belirli noktalarda sondaj delikleri açılmaktadır [3].

## **2. 2. Vibrokompaksiyon Metodu**

Vibrokompaksiyon derin ve kohezyonsuz zeminler, zemine yerleştirilen bir sondanın yüksek enerji titreşimleriyle sıkıştırılır. Bu amaçla zemine penetre edilebilen vibratör çekiçleri kullanılmaktadır. Vibrokompaksiyon tekniğinde en yaygın olarak Vibro-Kanat, Terraprove ve Franki Y-Prope tipleri kullanılmaktadır. Vibrokompaksiyonda 1-2 m aralıklarla kompaksiyon yapılmaktadır.

Vibro-Kanat aparatı vibratörlü darbe ile zemine istenilen derinliğe kadar penetre edilir ve yavaş yavaş yukarı doğru çekilirken zemin de sıkıştırılır. Derin, gevşek ve kohezyonsuz zeminler, zemine yerleştirilen bir sondanın yüksek enerji titreşimleriyle sıkıştırılır. Bu teknikte 40 cm çapında silindirik bir sonda vibrasyonla beraber titreşimle ve sondanın dibindeki deliklerden yüksek basınçla su fişkırtılarak zemine indirilir. İstenen derinlikte suyun akışı azaltılır ve bir kısım fişkırtmanın yönü sonda yukarıya çevrilerek, suyun yukarı doğru akışı ile dolgu malzemesi zeminin en uç noktasına inmesine neden olur. Doldurma işlemi devam ettikçe zamanla sondaj çevresinde 2.50-3.00 m. çapında bir bölge sıkıştırılmaktadır. Bu metot ile 10-15 m derinliğinde zemin tabakası sıkıştırılır.

## **2. 3. Kompaksiyon Kazıkları Metodu**

Kompaksiyon kazığı, gevşek kum tabakasına zeminin yoğunluğunu arttırmak için çakılan yer değiştirme kazığıdır. İnce kumun sıvalaşma potansiyelini azaltmada ve yumuşak çökeltilerin, siltlerin vb. taşıma gücünü arttırmada çok kullanılır. Önceden dökülmüş beton kazıklar veya bir ucu kapalı boş çelik kazıklar gibi büyük yer

değiştirme kazıklarının zemine çakmak suretiyle zeminin yoğunluğu arttırılabilir. Zemin, hem zeminin gerçek yer değiştirmesi hem de çakma işlemi esnasında oluşan yer titreşimi ile sıkıştırılır. Kazıklar yerinde bırakılır. Kazıklar arasındaki zeminin makul düzeyde sıkışmasını sağlamak için, kazıklar nispeten yakın açıklıklı olmalıdır.

Kum kazıkları, kolay ayrılabilir bir temel plakasıyla birlikte kaplama borusu çakarak meydana getirilir. Daha sonra aşamalı olarak kaplama borusunun geri çekilmesiyle birlikte boru içindeki kum dolgu malzeme sıkıştırılır. Franki kazığı etkili bir metottur. Franki tipi keson kazıklar çok büyük basınç ve çekme kuvvetlerini güvenle taşıyabilirler.

Bu metot kum kazıkların çabuk kullanımı için elverişlidir. Burada zeminin sıkıştırılması hem borunun çakılması sırasında püskürtme, hem de dinamik etki ile olur. Kum zeminlerde bu etki kum suya tam doygun veya kuru olduğunda en fazla olur. Kum kazıkların aralarındaki uzaklık genellikle 1.0-1.5 m arası değişir. Kompaksiyon kazıkları ince taneli zeminlerde maliyet ve uygunluk açısından vibroflot ve terraprobe sondalarından daha uygun bir metottur. Ayrıca suya doygun zeminlerde çok etkili bir metottur [4].

#### **2. 4. Önyükeme Metodu**

Sıkışabilir bir zemine üzerindeki yapıdan intikal eden gerilmelerden ötürü oluşacak konsolidasyon oturması çok uzun yıllar almaktadır. Bazen meydana gelen oturmalar üzerindeki yapıya zarar verebilecek ölçüde olabilmektedir. Bunun için yapının inşasından önce yapı yükünden daha fazla bir ilave yük zemine uygulanır ve gerilme artışlarıyla birlikte zamana bağlı oturmalar hızlanır. İstenen miktarda oturma meydana geldikten sonra zemin üzerindeki ilave yük kaldırılır. Böylece yapının

kullanıma başlanmasından sonra zamana bağlı olarak meydana gelecek istenmeyen oturmalar engellenmiş olur ve nihai oturmanın tamamına yakını gerçekleşir.

Önyükleme ile hızlandırılmış konsolidasyon tekniği yapının oturduğu zeminin killi, yumuşak ve aşırı sıkışabilir olması halinde çok başarılı sonuçlar elde edilmektedir. Önyüklemelerde bekleme süresini azaltmak için zemin içine düşey kum drenaj kolonları veya yapay drenaj levhaları yerleştirmek iyi sonuçlar vermektedir. Bu durumda zemin içindeki su yalnız düşey yönde değil yatay yönde de hareket ederek drenaj kanalları vasıtasıyla zeminden uzaklaştırılır. Böylece zemin tabakasının konsolidasyonu oldukça hızlanır. Diğer metotlara nazaran nispeten daha ekonomik olmakla beraber oturmaların tamamlanması için gerekli süre daha uzun olmaktadır.

Önyükleme metodunda yumuşak zeminde oturmayı hızlandırmak için tatbik edilen ilave yük kolay dren olabilen granüler malzeme (kum ve çakıl) olmalıdır. Konsolidasyon sırasında sıkışan zeminden gelecek suyun hemen drene olması sağlanmalıdır. Genellikle organik olan veya olmayan tüm killi zeminlerde ve hatta PT grubu bataklık zeminlerde ve hatta %20-%3000 su içeriğindeki zeminlerde dahi başarıyla uygulanabilmektedir.

## **2. 5. Dinamik Kompaksiyon Metodu**

Kohezyonsuz ve kohezyonlu zemin tabakalarının yüzeyine ağır kütleler düşürerek şok dalgaları, sıvılaşma, yüzey çatlaması ve yoğunluğun arttırılmasını amaçlar. Bu metot 1930'lu yıllarda Almanya'da otoyolların inşası sırasında kullanılmaya başlanmıştır [5]. Aynı yöntem 1950'li yıllardan itibaren İngiltere'de uygulama alanı bulmuştur.

Son yıllarda dünyada çok yaygın olarak kullanılan dinamik kompaksiyon tekniği ile stabil olmayan sıkışabilir (konsolide olabilen) zeminlerin ıslah edilmesi oldukça kolay ve ekonomik olarak yapılabilmektedir. Bu teknikte sıkıştırma 10-40 ton ağırlığındaki bir tokmağın 10-45 m yükseklikten ıslah edilecek zemin üzerine defalarca düşürülmesiyle yapılmaktadır. Bu işlem bir veya daha fazla pasda tüm alana belirli aralıklarda düşme yükü tatbik edilmekte ve her pasdan sonra oluşan çukurlar ya dozer ile düzeltilmekte ya da çukurların içleri granüler malzeme ile doldurulmaktadır. Daha sonraki pasda tekrar sıkıştırılıp işleme devam edilmektedir.

## **2. 6. Kum Drenleri**

Kum dreni, zemine bir kazık çakarak ve delerek delme veya burgu ile zemini çıkararak oluşturulan temiz kum filtresi kolonudur. Önyükleme metodu ile konsolidasyon oturmaları genellikle çok uzun zaman almaktadır. Konsolidasyonu hızlandırmak amacıyla düşey kum drenleri konsolide olacak zemin içinde inşa edilerek zemindeki suyun süratle drenajı sağlanır. Düşük permeabiliteli killerde konsolidasyon hızı, kum drenleri kullanılarak, kil içindeki drenaj yolunu kısaltmak suretiyle arttırabilir.

Dren kuyularına konan kum filtrelerin dren kabiliyeti yüksek ve kapiler boşluğu olacak şekilde uygun bir gradasyona sahip olmalı ve yerleştirilmeleri sırasında yeterince sıkıştırılmalıdır. Ayrıca filtre malzemesi zeminin dreni sırasında zeminin ince daneleri tarafından tıkanmamalıdır. Aksi takdirde dren kabiliyeti azalacak veya yok olacaktır. Bu nedenle kum dren malzemesinin geotekstil malzeme ile sarılarak kılıf içine alınması uygun olacaktır.

Kum drenleri tek başlarına konsolidasyon oturmasına neden olmadıklarından dolayı ön yükleme metodu ile birlikte kullanılmalıdır. Uygulamada kum drenler genel

olarak 30-45 cm çapında ve 1.5-3 metre aralıklarla kare veya üçgen şekiller ile belli aralıklarla dizayn edilirler.

## **2. 7. Taş Kolonlar**

Taş kolonlar yumuşak ve gevşek zeminlerin iyileştirilmesinde kullanışlı bir yöntemdir. Taş kolonlar ile üstyapı proje yüklerine, saha ve zemin koşullarına bağlı olarak zeminin taşıma kapasitesi artırılmakta, oturma süresi azaltılmakta ve deprem durumunda sıvılaştıran veya mukavemetini kaybeden zeminler sağlamlaştırılmaktadır.

Taş kolonlar genellikle yumuşak ve orta katı kil zeminlerde, problemlili zemin tabakası kalınlığının genellikle 10 m'den az olduğu koşullarda tercih edilmektedir. Taş kolon uygulaması ile oturma problemleri genellikle %50-60 oranında azaltılabilmekte, taşıma kapasitesi ise çok daha yüksek seviyelere çıkarılabilmektedir. Taş kolonlarının genellikle uçlarının sağlam bir taban zeminine oturtulması tavsiye edilmektedir. Üstyapı proje yükleri ve zemin koşullarına bağlı olarak 75-100 cm çapında taş kolonlar üçgen veya kare yerleşim planında projelendirilmektedir. İmalatlarda kullanılan taşların temiz, genellikle 10-50 cm boyutlarında ve içerisindeki ince oranı %5-10 arasında olan malzemeler ile yapılması gerekmektedir. Taş kolonlar zemini su jeti ile ve zemini doğrudan delerek içine kaba granüler malzeme konulduktan sonra vibrasyonla sıkıştırılması sonucu elde edilir. Bu yöntemle ıslah edilen zeminlerin vibrasyon etkisi ile sıkışması sağlanarak yoğunluk artışı elde edildiğinden dolayı taşıma gücünde, kayma mukavemetinde ve dren kabiliyetinde artış sağlanabilmektedir.



## **2. 8. Kireç Kazıkları**

Eskiden beri Çin’de uygulanan kireç kuyusu ya da kazığı metodu sönmemiş kirecin (CaO) sıkıştırılmasıyla meydana gelmektedir. Su muhtevası % 50’den fazla olan siltli kil ve ince siltli zeminlerde çok etkili metottur [6].

Zemin iyileştirilmesi işleminde iki aşama vardır. Sönmemiş kireç su ile reaksiyona girdiğinde CaO ağırlığının %32’sine eşit miktarda su emmektedir. Hidratasyon sonucu, kirecin hacmi artarak sondaj kuyusunun kenarlarında 1250-1400 kPa’lık yüksek bir basınç meydana gelir bu da zeminin radyel konsolidasyonuna sebep olur. Hacim artışı kısıtlanmazsa %96’lık bir değişim olmaktadır. Günümüzdeki uygulamalarda 10 m derinlik için yaklaşık 30 cm’lik kazık çapı kullanılır. Kazıklar 1-2 m aralıklarla yerleştirilir.

## **2. 9. Elektro-Ozmos**

İnce taneli zeminlerin drenajı ve ön konsolidasyonu hızlandırmak için uygulanan bir metottur. Boşluk suyunun anot (+) katoda (-) doğru hareket ettirilmesine elektro-ozmos denir. Katotta toplanan su sistem dışına pompalanır, bu sırada anot su ile beslenmezse konsolidasyon sağlanmış olur [7].

## **2. 10. Derin Karıştırma Metodu**

Derin karıştırma yönteminin amacı zeminin kayma mukavemetinin artırılması, permeabilitesinin azaltılması veya zararlı maddelere karşı dayanıklılığının iyileştirmektir. Bu yöntem derin karıştırma stabilize edici malzeme ile zemini fiziksel olarak karıştırmak için jet veya burgular kullanılmasına dayalı bir yöntemdir [8].

Derin karıştırma metodunda çimento, uçucu kül, yüksek fırın cürufu, kireç, çeşitli katkıları veya bunların kombinasyonları bağlayıcı madde olarak kullanılarak

zemin ıslah çalışmaları yapılmaktadır. Kullanılan bağlayıcı madde, zemin cinsine bağlı olarak iyileştirilecek zemin hacminin %20-30'u kadar olmalıdır. Uygulama alanları, kazı çukurlarının desteklenmesi, geçirimsizlik perdeleri, rıhtım yapıları, tünel zeminin desteklenmesi, temel takviyesinin yapılması ve sıvılaşmanın önlenmesi olarak sıralanabilir. İmalat öncesi metodun uygulanmasından sonra optimum iyileştirmenin sağlanması için arazi ve laboratuvar deneyleri ile kullanılacak enerji ve zemin tipine uygun bağlayıcı maddenin belirlenmesi sağlanmalıdır.

## **2. 11. Enjeksiyon**

Zemin enjeksiyonu, temel olarak akışkan malzemelerin basınç altında zemin içerisindeki boşluklara enjekte edilmesidir. Üst yapı yüklerini zeminin sağlıklı bir şekilde taşıyabilmesi için zeminin mühendislik özelliklerinin iyileştirilmesi gerekmektedir. Bu kapsamda zeminin geçirimsizliği azaltılarak kayma mukavemeti artırılır ve enjeksiyon sayesinde danelerin kenetlenmesi sağlanarak şekil değiştirme direnci artırılır.

Bu iyileştirme, zeminin gerilme-deformasyon ve dayanım gibi mekanik özellikleri ile geçirimsizlik gibi hidrolik özellikleri değiştirilerek elde edilir. Zemin enjeksiyonları özellikle son 15-25 yıllık bir süreç içerisinde tünel kazımı dolayısıyla yüzeydeki veya yakın çevredeki yapılarda meydana gelebilecek zararlı oturmaların engellenmesinde, deprem esnasında sıvılaşabilecek gevşek, suya doygun granüler zeminlerin sıvılaşma potansiyellerinin azaltılmasında ve zeminlerin taşıma kapasitesinin artırılmasında kullanılmıştır.

Zemindeki boşlukların büyüklüğüne ve enjeksiyonun amacına göre uygun enjeksiyon malzemesinin belirlenmesi gerekmektedir. Enjeksiyon malzemesinin zemin

içerisine yerleştirilme biçimine ve zemin özelliklerine bağlı olarak da farklı enjeksiyon teknikleri geliştirilmiştir. Enjeksiyon malzemesi ve enjeksiyon parametreleri (enjeksiyon basıncı, enjeksiyon hızı, enjekte edilen hacim vb.) zemin koşullarına (dane çapı dağılımı, rölatif sıklık, geostatik gerilmeler vs.) ve uygulama amacına yönelik olarak tasarlanmalıdır. Bu kadar farklı uygulama alanına sahip olan zemin enjeksiyonlarının başarılı bir şekilde uygulanabilmesi için enjeksiyon tekniklerinin, enjeksiyon harcı türlerinin, dolgu malzemelerinin özelliklerinin ve zeminin enjeksiyona karşı göstereceği davranışın bilinmesi gerekmektedir.

### **3. TERMAL İŞLEMLER**

#### **3. 1. Isıtma Metodu (Yüksek Sıcaklıkta)**

Isıtma ya da camlaştırma işlemi zemin bileşenlerini kristal ya da cam ürünler haline getirir. Bu işlemde zemini ısıtmak ve zeminin fiziksel karakteristiğini modifiye etmek için elektrik kullanılır. Zemini sürekli ısıtmak zeminin özelliklerini değiştirmektedir. Zeminin niteliğine göre uygulanacak sıcaklık 300-1000°C arasında değişmektedir. Zemin ısıtma ya da camlaştırma işlemi için zemine komşu yapılar ya da etkilenebilecek unsurlar dikkate alınmalıdır.

Lösler başta olmak üzere doygun olmayan silt ve killer ortam sıcaklığının artmasıyla kuvvetlendirilirler. Kili zemin ısıtıldığında zamanla içerisindeki suyu kaybederek sertleşir. Yeterli ısıya ulaşıldığında sertlik çözülmez. 900°C'nin üstündeki ısılar killeri tuğla haline getirebilir. Ancak yerinde zeminleri bu gibi ısılarla iyileştirme hem ekonomik hem de pratik bir yöntem değildir. Fakat edinilen deneyimler 400-600 °C'de ısıtıldığında killerde önemsenecek derecede rutubet kalmadığını ve hidrasyonun

önemli ölçüde önlendiğini göstermiştir. Termal sıcaklık işlemi ile zeminlerin; plastisite indisi, kabarma özellikleri, mukavemet, kompresibilite ve taşıma gücü gibi özelliklerinde iyileştirmeler meydana gelir.

### **3. 2. Dondurma Metodu**

Akma ve göçme eğilimi gösteren ortamlarda açık kazıların, tünellerin, yer altı kazılarının yapımını kolaylaştırmak amacıyla boşluk suyunu dondurmak suretiyle yapılan zemin iyileştirme metodudur.

Zeminde sıcaklığın azaltılması, zemin içerisine yerleştirilen borulardan soğuk hava geçirmek suretiyle sağlanabilir. Bu yöntemde sıvı nitrojen ve sıvı karbondioksit kullanarak çabuk dondurma metotları da geliştirilmiştir. Nitrojen -20-40 °C olan tuzlu suyla karıştırıldığında nitrojenin kaynama noktası -196 °C olduğundan daha alçak ısı ve daha hızlı soğutma elde edilebilir. Genel kural olarak her ortamda dondurma uygulanabilir. Ancak maliyetler çok yüksektir. İdeal uygulama yumuşak zemin şartlarında yeraltı su düzeyinin altında ve 7-8 m. derinliklerinde yapılır. Bu metodun kesinlikle uygulanamayacağı tek durum hareketli yeraltı suyudur. Yeraltı suyunun doğal olarak 2 m/gün'den fazla hareket ettiği ortamlarda zemin iyileştirme çalışmaları başarısız olur.

## **4. DİĞER METOTLAR**

### **4. 1. Mini Kazıklarla**

Mini kazıklar genellikle, 10-30 cm arasında çaplarda çimento şerbeti veya harcı ile birlikte hazırlanmaktadır. Donatı olarak beton çeliği veya özel çelik profiller kullanılır. Kazığın zemine yükleri aktarması daima beton gövde sürtünme yüzeyinden oluşmaktadır. Yani yükler kayaya oturan kazıkların dışında, çevre sürtünmesi ile aktarılır. Kazık çapı olarak delicinin veya kaplama borusunun dış çapı alınır. Mini kazıklar yatayla 100 eğimden düşey doğrultuya kadar çeşitli eğimlerle imal edilir.

### **4. 2. Geotekstil**

Son yıllarda en çok kullanılan geotekstillerin, donatı, ayırma, filtrasyon ve drenaj olarak dört önemli fonksiyonu vardır. Yumuşak killer üzerine oturan dolguların takviyesinde ve zemin iyileştirmesinde kullanılmaktadır. Dolgu inşasında en önemli fonksiyonu çekme donatısı olarak kullanılırsa kaymayı önlemeye çalışmasıdır. Zeminin permeabilitesini azaltmak ve taşıma gücü kapasitesini arttırmaktır.

### **4. 3. Kireç-Baca Külü**

Kömürle çalışan termik santrallerin bacalarından toplanan baca külleri, kireç ile birlikte zemine karıştırıldıkları zaman iri daneler arasında boşluklar doldurulur. Bu sebeple kireç stabilizasyonu sadece ince daneli malzemelerde etkili olurken kireç-baca külü karışımları iri daneli zeminlerin iyileştirilmesinde kullanılmaktadır. Zeminin basınç ve çekme mukavemetinin arttırılması sağlamaktadır. Karayollarında en uygulanan bir iyileştirme metodudur.

#### **4. 4. Jet Enjeksiyonu**

Oldukça pahallı ve yeni bir metot olan jet enjeksiyonu, çok iyi bir karışımla homojen bir şerbet haline getirilen çimentonun veya bentonit delme makinesi ile istenilen derinliğe inildikten sonra çok yüksek bir basınçla (400-700 bar) bir pompa aracılığıyla zeminin içine püskürtülmesi ve zemini yırtarak zemin içerisine karışmasının sağlanmasıdır. Bu püskürtme işlemi zemin içine sokulan sondaj tijlerinin ucundaki enjektörlerden yapılır. Karışımın hazırlanması, zemin içine enjekte edilmesi tamamen otomatik makineler yardımıyla ve de tecrübeli bir ekipman gurubu ile yapılmaktadır.

#### **4. 5. Çimento Stabilizasyonu**

Organik zeminlerin dışında çimento ile zemin karıştırılarak zemin tabakaları iyileştirilmektedir. Endüstri ve teknolojinin son yıllarda Türkiye’de gelişmesi sebebiyle en çok kullanılan metottur. Laboratuarda belirlenen çimento yüzdesi arazideki üniform karıştırma güçlükleri göz önünde bulundurularak bir miktar artırılır. Zemin-Çimento karışımının en uygun şekilde sıkıştırılması gerekmektedir. Sıkıştırma en kısa süre içerisinde ve hızlı olarak yapılmalıdır. İyi derecelenmiş kumlarda % 2-6 yüksek plastisite killerde % 8-12 değerindedir.

#### **4. 6. Bitümlü Stabilizasyon**

Yol yapımında, temel malzemesine uygulanan bitümlü madde ile iri daneli zeminin kohezyonu artar. İnce daneli zeminle karıştırılan bitüm ise zemine sızdırmazlık (geçirimsizlik) kazandırır. Kireç ve çimentoya oranla pahallı olduğundan az uygulanır.

#### **4. 7. Kireç Stabilizasyonu**

Kireç bilinen en eski iyileştirme malzemesidir. Zemine kuru ağırlığının %2-%8 kireç ilave edilir. Kil mineralleri kireç ile reaksiyona girerek silikat jelini meydana getirir. Jel; boşlukları doldururken zemin daneleri arasında bağlayıcı görevi görür. Yaklaşık olarak 1 yıl süreyle reaksiyon devam eder. Genel olarak, kireç stabilizasyonu zeminin mukavemetinin ve şekil değiştirme modülünün artmasını, kabarma potansiyelinin ve şişme basınçlarının azalmasını ve çevre koşulları etkisi altında zeminin özelliklerinin bozulmasının daha sınırlı kalmasını yani dayanıklılığının artmasını sağlamaktadır. Ayrıca plastisitenin azalmasına yol açtığı için arazi çalışma koşullarının iyileşmesi sonucunu doğurmaktadır. Kireçle stabilizasyon daha yaygın olarak killi zeminlerden yapılan dolgularda özellikle yol inşaatlarında kullanılmaktadır [9].

#### **5. SONUÇLAR**

Zemin iyileştirme metotları gerçek anlamda 20. yüzyılın bir mühendislik olayıdır. Dünyada ve ülkemizde sağlam zemin bölgelerinin giderek azalması ve yetersiz temel ortamının kullanım zorunluluğu, yerleşim ve kullanımın büyük boyutlarda artışı sonucu komşu yapılarının güvenliğini korumak amacıyla zemin iyileştirme tekniklerinin uygulaması önem arz etmektedir.

Normal konsolide olmuş siltlerde, siltli killi zeminlerde elektro-ozmos metodu, yağışlı bölgelerde kireç stabilizasyonu, soğuk bölgelerde bitümlü stabilizasyon, yumuşak ve organik zeminlerde geosentetikler, gevşek kumlu zeminler, kısmen suya doygun killi zeminlerde kompaksiyon kazıkları, kohezyonsuz zeminlerde dinamik

konsolidasyon, % 20'den az ince daneli kohezyonsuz zeminlerde vibroflatasyon (vibrokompaksiyon), normal konsolide killerde ön yükleme, bütün zeminlerde dondurma metodu uygulanabilir.

Sonuç olarak, yapıların doğru projelendirilmesi için zeminin mühendislik özellikleri belirlendikten ve maliyet analizleri yapıldıktan sonra uygun bir zemin iyileştirme metodun seçimi yerinde olacaktır.

### **Kaynaklar**

- [1] Mitchell, J.K., "Stabilisation of Soils for Foundations of Structures", Geot. Eng. Univ. California. 1976.
- [2] Önalp, A., İnşaat Mühendislerine Geoteknik Bilgisi. Cilt II, Karadeniz Teknik Üniversitesi Yayın No: 3, Trabzon, 1225s. 1983.
- [3] ENPC-LCPC, International Conference on the Use of Fabrics in Geotechnics, Paris. 1977.
- [4] Demiröz, A., "Zemin İyileştirme Metotları", Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Konya, 89s, 1992.
- [5] Loos, W., Comparative Studies of the Effectiveness of Different Methods for Compacting  
Internaitonal Conference on Soil Mechanics and Foundaiton Engineering, Vol: 3, pp. 174-179, 1936.
- [6] Horne, M. R., The Consolidaiton of a Staratified Soil with Vertical and Horizontal Drainage, International Journal of Mechanical Sciences, Vol: 6, 1964.



- [7] Uzuner, B. A., Temel Mühendisliğine Giriş, Trabzon, Derya Kitabevi, 305s, 2006.
- [8] Kayabalı ,K. And Mollamahmutoğlu, M., Geoteknik Mühendisliği Elkitabı, McGraw- Hill El Kitapları, Robert W. Day. Gazi Kitabevi, Fersa Matbaası, 600s. 2004.
- [9] Özaydın, K., Zemin Mekaniği, İstanbul, Birsen Yayınevi, 261s, 2005.