

ZEMİN ISLAH YÖNTEMLERİ

PROF. DR. HASAN ÇETİN

Zemin Islahı Neden Yapılır?

- * Zeminin sabit ve dinamik yükler altında yapacağı oturmalar azaltmak veya tamamen gidermek
- * Zeminin taşıma gücünü artırmak
- * Zeminin geçirimliliği azaltılarak don etkisi, şişme ve büzülme gibi etkilerden kaynaklanacak hacimsel değişimleri kontrol etmek
- * Dolgularda ve barajlarda şev kaymalarını önlemek için güvenlik katsayısını artırmak
- * Yol kaplaması taban altlarının taşıma kapasitesini iyileştirmek (Holtz ve Kovacs, 1981).

- * 1. MEKANİK İYİLEŞTİRME
- * 2. KİMYASAL
- * 2. ZEMİN İYİLEŞTİRME YÖNTEMLERİ
- * Dünyada ve ülkemizde çok sık kullanılan zemin iyileştirme yöntemleri aşağıda sıralanmıştır. Bunlar;
- * a. Taş Kolonlar
- * b. Kum Kazıklar-Düşey Drenler
- * c. Ön ve Fazla Yükleme
- * c. Derin Karıştırma
- * d. Vibrokompaksiyon-Vibroflotasyon
- * e. Dinamik Kompaksiyon (Ağırlık düşürme)
- * f. Kompaksiyon Enjeksiyonu
- * g. Çatlatma-Girme-Deplasman Enjeksiyonu
- * h. Jet Enjeksiyonu
- * ı. Patlatma
- * i. Geotekstil ve Geosentetikler ile Güçlendirme
- * j. Kimyasal Enjeksiyon ve Diğerler

1. ARAZİ KOMPAKSİYONU

Kompaksiyon mekanik enerji uygulamak suretiyle zemin yoğunluğunun artırılması işlemidir. Böylelikle zemin kütlesinin özellikleri mühendislik iyileştirilebilmektedir.

1.1 YÜZEYSEL KOMPAKSİYON

- Sıkıştırılmış dolgular için gerekli zemin malzemesi malzeme ocaklarından hafredilmek suretiyle temin edilir.
- Hidrolik kürekler, kablolu kepçeler ve kendinden hareketli sıyırıcılar (Şekil 1.) veya tavalar ocaktan malzeme kazmak için kullanılan makinelerdir.

- Sıyırıcılar farklı malzeme tabakalarını keserek değişik tane boyutlarını birbiriyle karışmasını sağlamaktadır. Malzeme ocağı inşaat alanından kilometrelerce uzakta bulunabilir.
- Sıyırıcılar ve arazi araçları zemini inşaat alanına taşıma ve lift adı verilen yayma işlerinde sıkça kullanılırlar. Bu işlemlerde muntazam yol şartları veya şantiye için tasarlanmış damperli kamyonlar kullanılmaktadır (Şekil 2.).



Şekil 1. Sıyrıcı makinesi
(<http://mypage.bluewin.ch>)



Şekil 2. Damperli kamyon
(<http://www.caterpillar.com>)

- * Hafriyat müteahhidi dolgu malzemesini serme süresini azaltmak için genellikle damperli kamyonlardan yayma eğilimindedir. Ancak hafriyat sahasından elde edilen zemin tam olarak istenilen özelliklere sahip olmayabilir.

- * Hafriyat müteahhidi uygun koşullarda hafriyat makinelerini daha önceden sıkıştırılmamış zemin dolgusu üzerinde çalıştırarak bu zemin dolguları için daha sonra gerekli olacak sıkışma enerjisini azaltabilmektedir.

Elde edilecek dolgunun mühendislik özelliklerini etkileyen en önemli malzeme özellikleri;

- * Zeminin granülometresi,
- * Su muhtevası
- * Plastisite özellikleri

* Zeminin granülometresinin standartta gösterilen aralıklar içinde kalması için eleme ve mekanik karıştırma yapılabilir. Malzemenin arzu edilen su içeriğinde olmaması halinde ıslatma, kurutma işlemlerin yapılması gerekir.

- * Yüksek plastisiteli killerde kompaksiyon tercih edilmemektedir. Çünkü bu malzeme yüksek şişme ve büzülme özelliğine sahiptir. Zorunlu durumlarda kil dolguya bazı katkı malzemeleri (kireç, baca külü vs.) katılarak kilin plastisitesinin azaltılması gerekir.

Hafriyat toprağı dolgu alanına taşındıktan sonra buldozerler (Şekil 3), kepçeler ve greyderler (Şekil 4) malzemeyi arzu edilen lift kalınlığında sererler. Lift kalınlığı kompaksiyon ekipmanının cinsine göre dolgunun maksimum tane boyutuna bağlı olarak 15-50cm arasında değişebilir.



Şekil 3. Buldozer
(<http://mypage.bluewin.ch>)



Şekil 4. Greyder
(<http://www.ci.kenai.ak.us>)

* Sıkıştırma işleminde kullanılan ekipmanların veya silindirlerin cinsi sıkıştırılacak zeminin türüne bağlı olarak değişir. Basınç uygulama, çarpma, titreşim ve yoğurma amaçlı değişik ekipmanlar vardır. Tambur silindirler (düz tekerler) (Şekil 5) vasıtasıyla 380 kPa'a kadar çıkan basınçlarda silindir altındaki zeminin tamamını sıkıştırmaktadır.

- * Lastik tekerli (pnömatik) (Şekil 6) silindirler asfalt kaplamalarının sıkıştırılmasında ve yol altyapılarında kullanılır. Lastik tekerlekli silindirler 700 kPa'a çıkan basınç uygularlar. Düzteker ve lastik teker silindirler toprak baraj inşaatı da dahil olmak üzere hem granüle hem de kohezyonlu zeminleri sıkıştırmada kullanılır.



Şekil 5. Tambur silindir
(<http://www.sasta.ru>)



Şekil 6. Lastik tekerlekli (Pnömatik)
silindir (<http://www.sasta.ru>)

- * Keçiayaklı silindirlerde çelik tambura iliştirilmiş çok sayıda yuvarlak veya dikdörtgen çıkıntılar (ayaklar) bulunur (Şekil 7). Bu silindirler 1400-7000 kPa arasında zemine basınç uygulayabilirler. Basıncın şiddeti tamburun büyüklüğüne ve içinde su olup olmamasına bağlıdır.
- * Keçiayaklı silindirler zemini sıkılaştırmaya ayağın en altındaki zeminde başlar (tambur yüzeyinden 15-25 cm derinde) ve geçiş sayıları arttıkça sıkıştırma liftin üst kesimlerine doğru yayılır. Liftin en üst kesimi de sıkıştırıldığında keçiayaklı silindir dolgu üzerinde adeta yürür. Kohezyonlu zeminlerin sıkıştırılmasında en etkin araçlar keçiayaklı silindirlerdir.

- * Darbeli ayaklı silindirlerin özel menteşeli ayakları zemine yoğurma şeklinde bir hareket uygular (Şekil 8). Bu silindirler 1400-8400 kPa arasında zemine basınç uygularlar. Bu silindirlerde keçiayaklı olanlar gibi zemini sıkıştırır ve sıkıştırma tamamlandığında lift üzerinde yürürler. En iyi sıkıştırmayı ince taneli zeminlerde yaparlar.



Şekil 7. Keçiyaklı silindir
(<http://www.csstech.com>)



Şekil 8. Darbeli ayaklı (kendinden çekmeli titreşimli) silindir
(<http://mypage.bluewin.ch>)

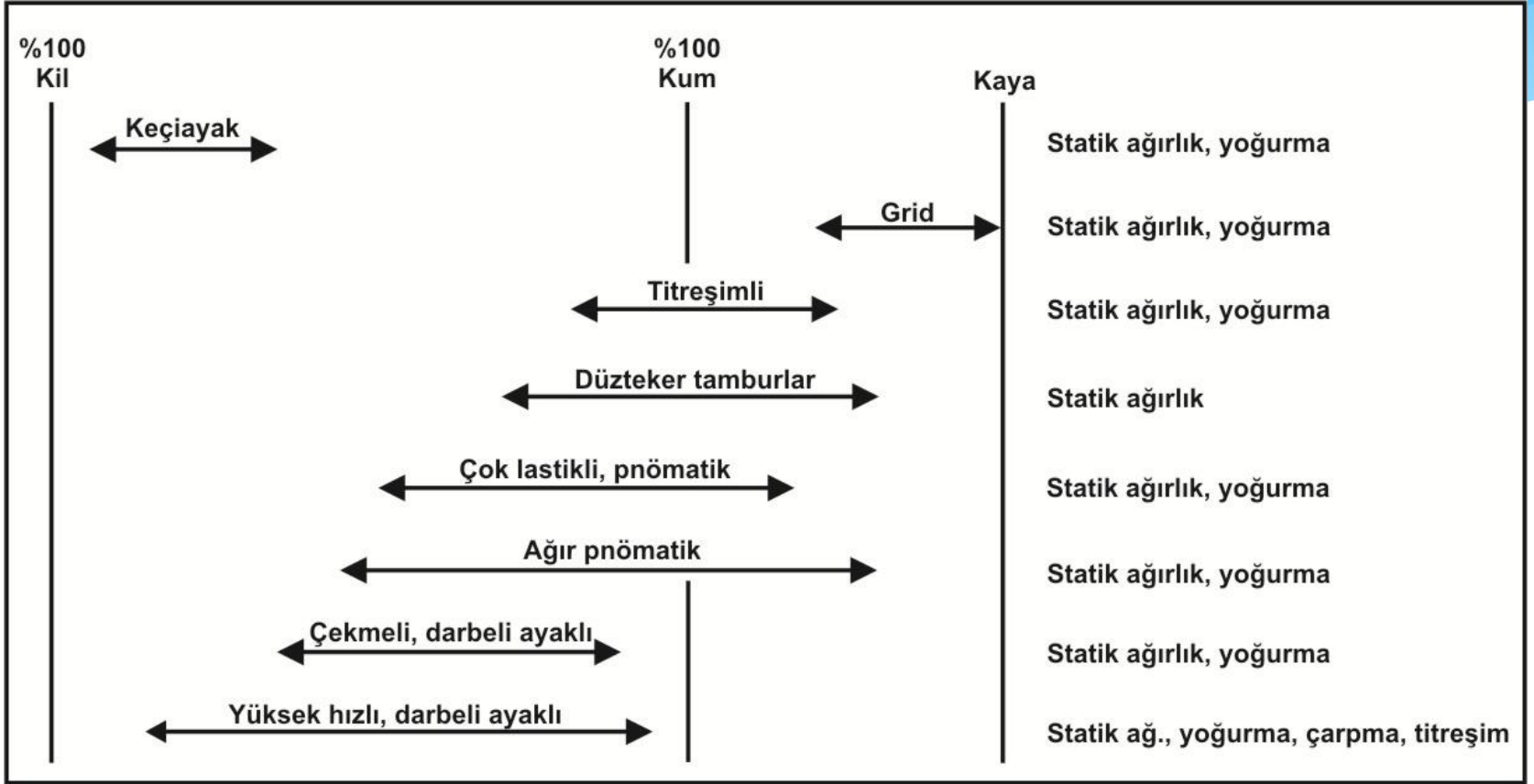
- * Silindirlerin diğerk bir çeşidi de elekli veya grid paternli silindirler olup bunlar zemine 1400-6200 kPa basınç uygularlar. Ekipmanlar yüksek çekme hızlarında titreşme, ezme ve çarpmayla kaya bloklu, çakıllı ve kumlu zeminleri sıkıştırır.
- * Bazı üretici firmalar granüle zeminleri daha etkin şekilde sıkıştırmak amacıyla düz teker ve darbeli ayaklı silindirlere düşey vibratör eklemiştir (Şekil 9). Silindirler dışında kompaksiyon için titreşimli plakalar (Şekil 10) ve çekiçlerde kullanılır. Bunlar daha çok büyük silindirlerin kullanılamadığı yerlerde çalışma imkânı bulurlar.



Şekil 9. Titreşimli silindir
(<http://www.bax.sk>)



Şekil 10. Titreşimli plaka
(www.road-development.irco.com)



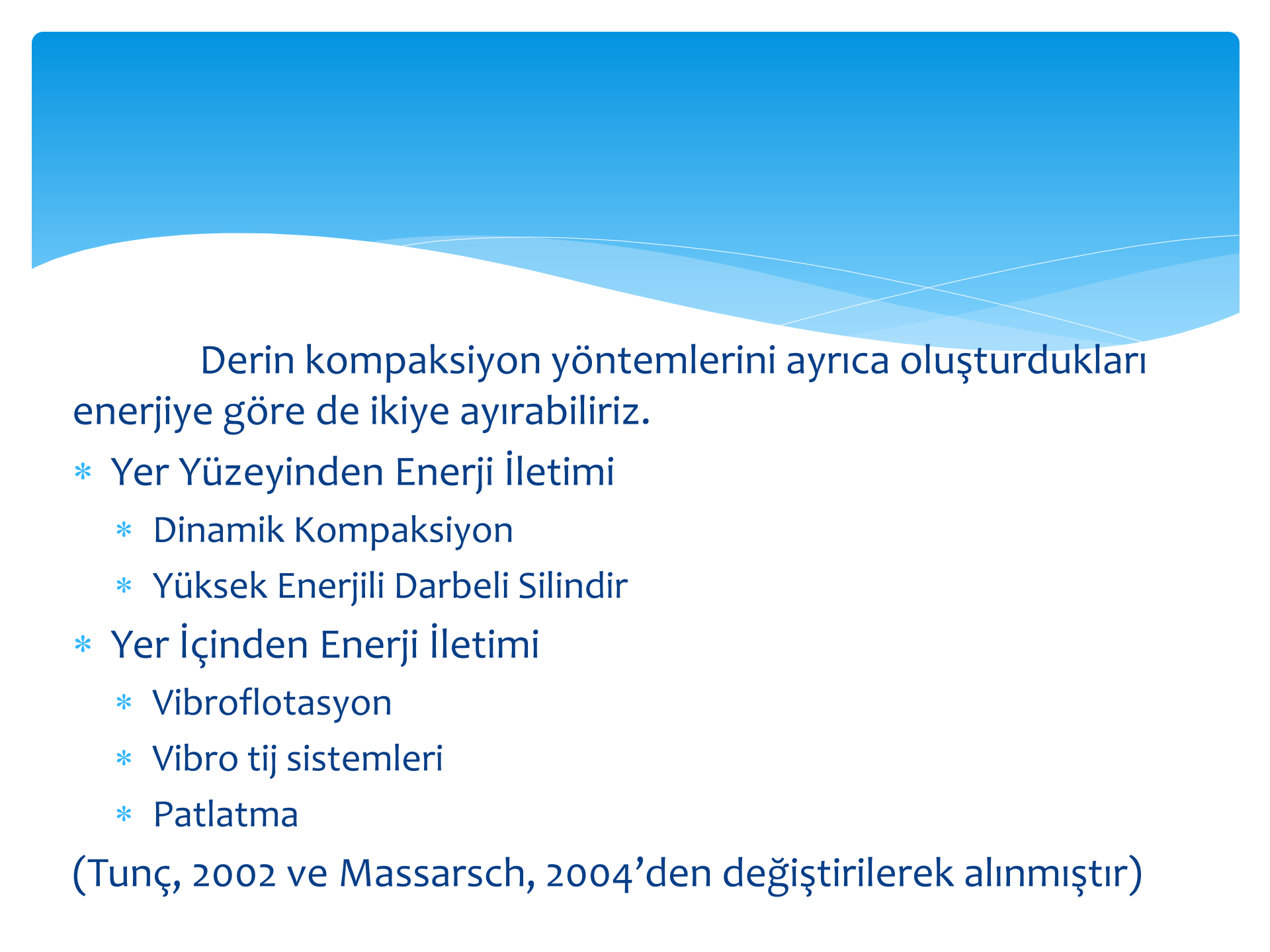
Şekil 11. Değişik kompaksiyon ekipmanlarının zeminlerde uygulanabilirliği (Caterpillar Tractor Co., 1977'den değiştirilerek alınmıştır)

1.2 DERİN KOMPAKSİYON

Son yıllarda zeminlerin kompaksiyonla ıslah edilmesi için birçok yeni metot geliştirilmiştir. Bunlar:

- * Vibro Teknikleri
 - * Vibroflotasyon
 - * Vibro tij sistemleri
- * Patlatma
- * Dinamik Kompaksiyon
- * Yüksek Enerjili Darbeli Silindir

olarak sayılabilir. Bu yöntemler konvansiyonel (geleneksel) kompaksiyonun yerini almaktan ziyade özel şartlara sahip zeminlerin kompaksiyonu için alternatif olarak geliştirilmiştir.



Derin kompaksiyon yöntemlerini ayrıca oluşturdukları enerjiye göre de ikiye ayırabiliriz.

- * Yer Yüzeyinden Enerji İletimi
 - * Dinamik Kompaksiyon
 - * Yüksek Enerjili Darbeli Silindir
- * Yer İçinden Enerji İletimi
 - * Vibroflotasyon
 - * Vibro tij sistemleri
 - * Patlatma

(Tunç, 2002 ve Massarsch, 2004'den değiştirilerek alınmıştır)

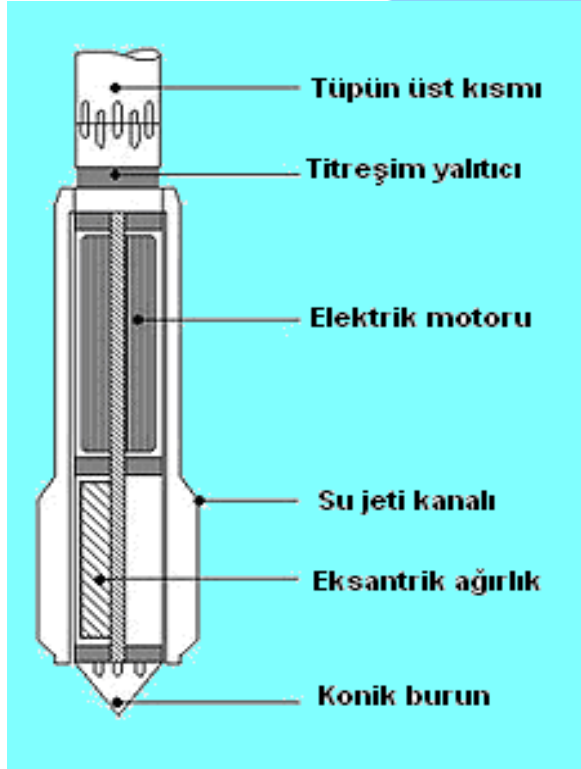
1.2.1. Vibro Teknikleri

Vibro tekniklerinde bir zemini tüm kalınlığı boyunca ve bir ağ şeklinde sıkılaştıran bir prob kullanılır. Vibro teknikleri, yatay titreşime (vibroflotasyona) ve düşey titreşime (vibro tij sistemlerine) dayalı olmak üzere iki gruba ayrılır.

1.2.1.1. Vibroflotasyon (Vibroflotation)

*Vibroflotasyon gevşek kumlu veya kum oranı çok yüksek zeminlerin derin kompaksiyonu için uygulanan bir tekniktir. 1930'lu yıllarda Almanya'da geliştirilen bu teknik daha sonraları bütün dünya da yaygın olarak kullanılmaktadır.

*30 ila 45 cm çapında, 3 ila 5 m uzunluğunda ve 2 ila 4 ton ağırlığındaki vibroflot; (Şekil 12 ve Şekil 13) elektrik veya hidrolik güç ile çalışan eksantrik ağırlığının dönmesi ile vibrasyon etkisi yaratır ve ayrıca su jeti ile zeminde dikey kuyular açılır.



Şekil 12. Vibroflotun ayrıntılarını gösteren şematik görünüm [uzunluğu: 3,57 m] (<http://www.vibroflotation.com>'dan değiştirilerek alınmıştır)

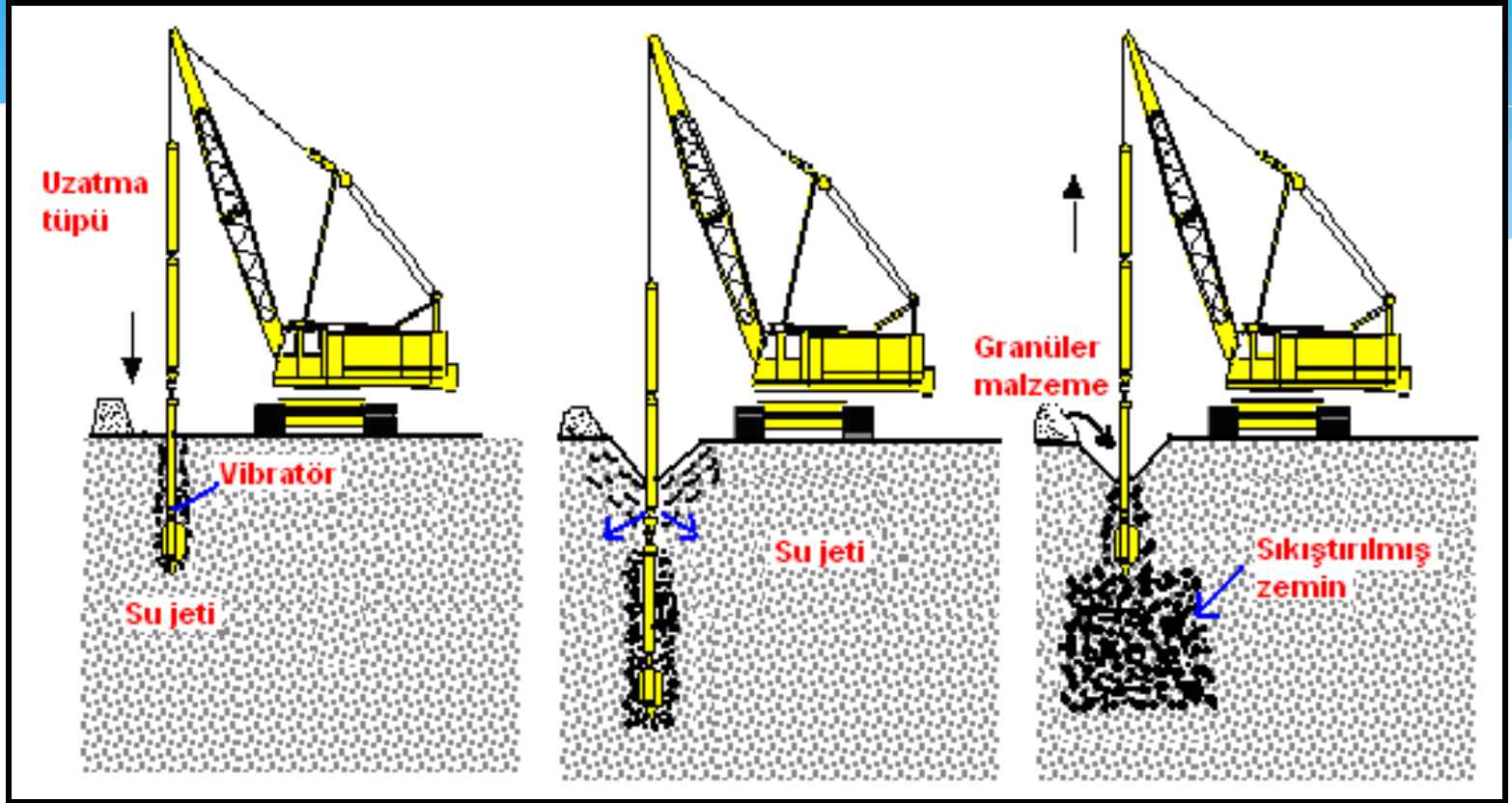


Şekil 13. Vibroflot aleti [V23 modeli Hong-Kong çapı: 35 cm ve ağırlığı: 2,2 ton] (<http://www.vibroflotation.com>)

- * Vibroflot ünitesi, başlangıçta vibrasyon etkisi ve ucundaki su jeti ile istenilen derinliğe kadar 1 ila 2 m/dk hızla zemine penetre edilir. İstenilen derinliğe eriştikten sonra uç kısımdaki su jeti kapatılır ve vibroflot ünitesinin yanlarından su jeti uygulanarak zeminin gevşetilmesi sağlanır. Böylelikle vibroflotun yukarı doğru çekilmesi kolaylaşır.

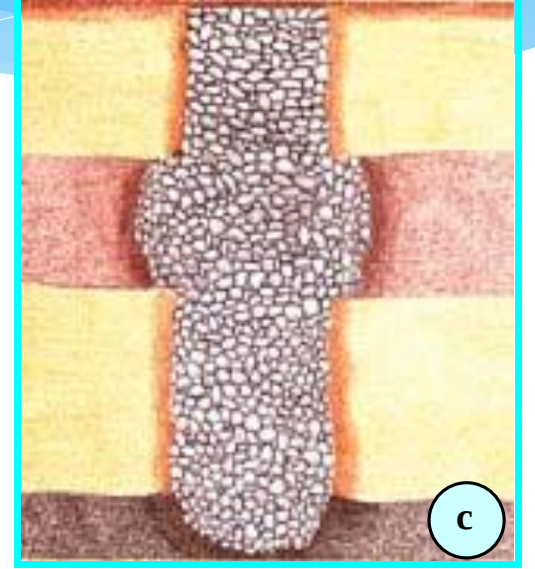
- * Titreşimler, vibroflotu çevreleyen zeminin sıkılaşmasını sağlayan geçici bir sıvılaşma zonu oluşturur. Vibroflotun üstündeki zemin yüzeyinde genellikle konik bir çöküntü oluşur. Bu sırada kuyu tamamen suyla doldurularak göçmesi önlenmelidir.

- * Daha sonra 30 cm/dk hızla ve 60-90 cm'lik kademelerle vibroflot ünitesi yukarı doğru çekilirken kuyuya granüler malzeme doldurulur ve yanlardan uygulanan su jeti ile granüler malzemenin dibe çökmesi sağlanır ve vibrasyon etkisi ile kuyunun çeperlerindeki zemin sıkıştırılır. Böylece zeminde bir nevi düşey granüler kolonlar yapılmaktadır (Şekil 14 ve Şekil 15). Bu yöntemle hem gevşek zemin sıkılaştırılmakta hem de düşey kolonlar oluşturularak taşıma gücü artırılmaktadır.



Şekil 14. Vibroflotasyon ile gevşek granüler zeminlerin kompaksiyonu (<http://www.sbe.napier.ac.uk> internet adresindeki resimler Hunt 1987'e göre düzenlenmiştir)

- a- Islah edilecek derinliğe kadar vibratör ile kuyu açılır
- b- Kuyunun tabanında vibratörle zemin sıkıştırılır
- c- Vibratör yukarı kaldırıldıkça granüler malzeme ilave edilir



Şekil 15. Taş (granüler) kolonun oluşturulması (www.vibroflotation.com)

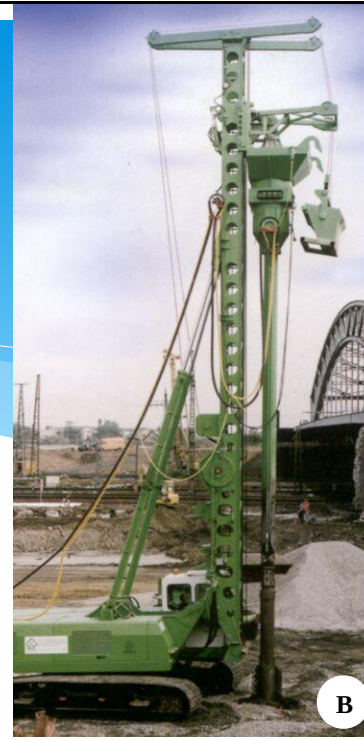
a- Vibroflot ile penetrasyon

b- Granüler malzemenin kuyuya verilmesi

c- Taş kolonun son hali



A



B



C



D

Şekil 16. Değişik vibroflotasyon makineleri (<http://vibroflotation.com>)

A- Dünya rekoru boyuna (56 m) sahip vibroflotation makinesi, Almanya

B- V-Rex isimli vibroflotasyon makinesi (maksimum iyileştirme derinliği: 12 m)

C- Sombrero ve telescopic loader isimli vibroflotasyon makineleri (mak. iy. der.: 9 m)

D- Vibro-Stitcher isimli vibroflotasyon makinesi (mak. iy. der.: 7 m)

1.2.1.2. Vibro Tij Sistemleri (Vibrotij: Vibro-Rod ve Vibrokanat: Vibro-Wing)

Vibro tij sistemleri tekniği granüler zeminlerin derin kompaksiyonu için kullanılır. Vibro tij sistemlerinde uzun bir probun (tijin) zemin içinde titreşmesini sağlayan titreşimli kazık çakma çekici kullanılmaktadır.

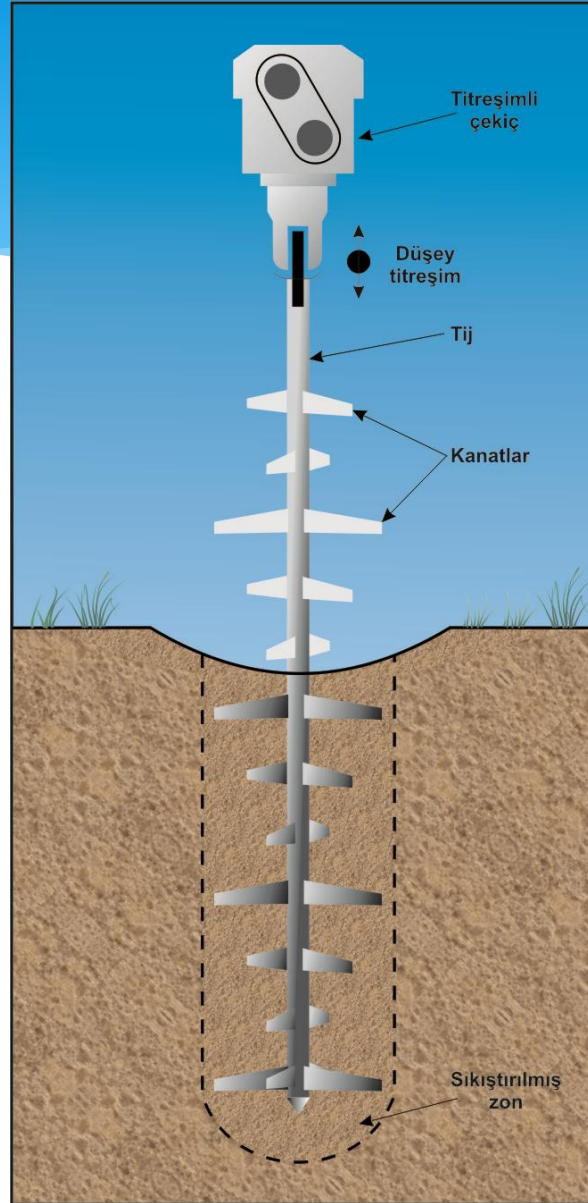
Vibro tij sistemleri tekniğinde en yaygın olarak kullanılan problemler Vibro-Kanat (Vibro- Wing), Terraprobe ve Franki Y-Probe tipleridir. Vibroflotasyonda yatay fakat vibro tij sistemlerinde ise dikey vibrasyon uygulanarak granüler zeminlerin derin kompaksiyonu yapılmaktadır. Ancak bu teknik vibroflotasyona nazaran 4-5 kat daha hızlı olsa da elde edilen rölatif yoğunluklar daha düşük ve yanıl yönde sıkılaştırılan hacim de daha azdır (Vibroflot düşey olarak titreştiğinden, bunların etki çapları vibroflotasyonda gözlenenlere göre daha küçüktür).

Bu nedenle vibro tij sistemlerinde 1 ila 2 m aralıklarla yani vibroflotasyona göre daha küçük ağ aralığıyla kompaksiyon yapılmaktadır.

Vibro-Kanat sistemi, tijin uzunluğu boyunca 50 cm aralıklarla ve çapsal olarak birbirine zıt yönde yerleştirilmiş 80 cm'lik kanatlardan oluşan merkezi bir tij içerir (Şekil 17 ve Şekil 4.18).



Şekil 17. Vibro-Kanat metodu [Resmin sağ tarafında kanatlı tij görülmektedir. Kanatlı tijin uzunluğu:15m, kanat uzunluğu: 80cm ve kanatlar arası mesafe: 50cm] (<http://www.geoforum.com>)



Şekil 18. Vibro-Kanat tijinin ayrıntıları (Broms, 1991'den yeniden çizilmiştir)

* Vibro-Kanat tiji titreşimli darbe ile zemine istenilen derinliğe kadar penetre edilir ve yavaş yavaş yukarı doğru çekilirken zeminde sıkıştırılır. Penetrasyon hızı zeminin tane boyutuna bağlı olarak değişir. Kaba taneli granüle zeminlerde daha hızlı ama ince kumlarda daha yavaştır.

1.2.3. Patlatma (Blasting)

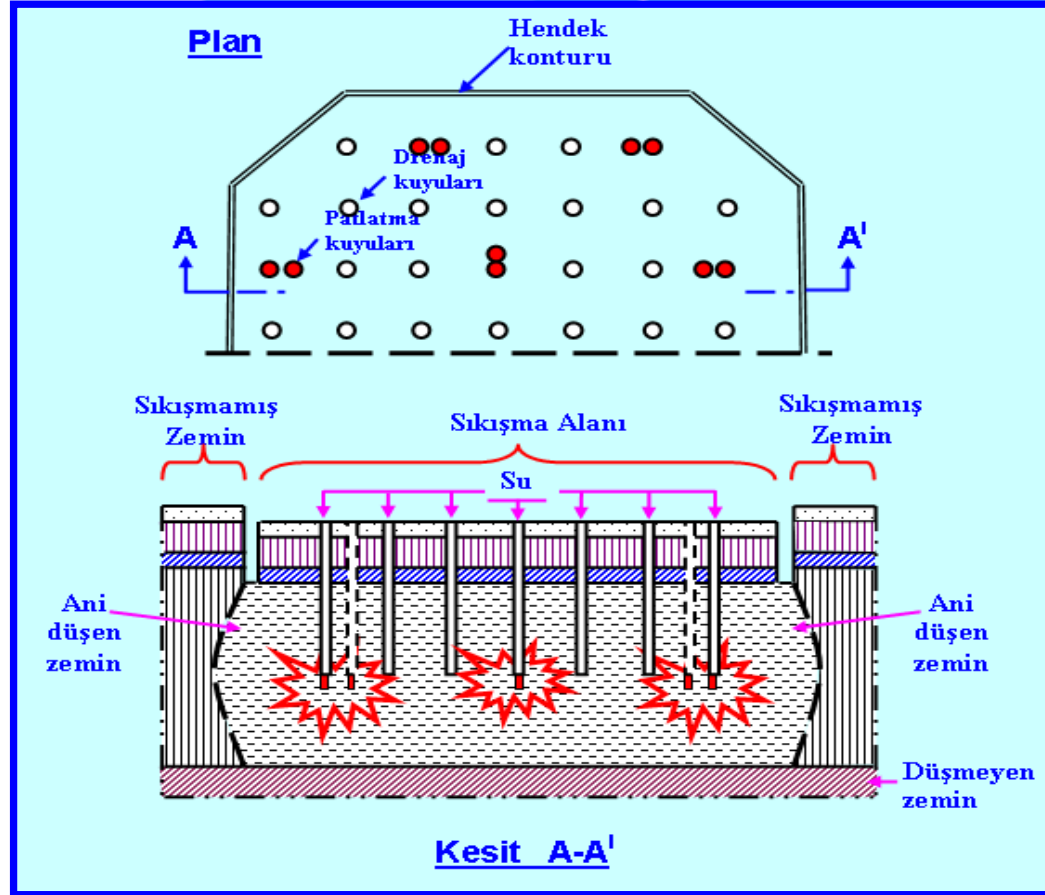
Gevşek granüle zeminler patlatma yoluyla da sıkılaştırılmaktadır. Patlatma sıkılaştırması, sondajla veya basınçlı suyla açılmış kuyularda düşey olarak 3 ila 6m aralıklarla yerleştirilmiş çoklu patlayıcıların patlatılması şeklinde yapılır. Kuyular arası mesafe genellikle 5 ile 15 m arasında olup, patlatmadan önce arka dolgusu yapılır (Şekil 19.).



Şekil 19. Patlayıcı ve dren kuyularının ağ şeklinde yerleştirilmiş hali, Japonya
(<http://geot.civil.metro-u.ac.jp>)

Sıkılaştırma sürecinin etkinliğini arttırmak için, farklı seviyelerdeki patlayıcılar küçük zaman aralıklarından oluşan gecikmelerle patlatılabilir. Patlatmadan hemen sonra zemin yüzeyi yükselir ve çatlaklardaki su ve gaz dışarı itilir. Aşırı gaz ve su basıncı sönümleşirken, zemin yüzeyi de oturur (Şekil 20 ve Şekil 21).

* Her patlatma işleminde sıkılaştırma etkinliği azalsa da, arzu edilen sıkılık derecesini elde etmek için genellikle iki veya aşamalı patlatma yapılmaktadır (sonraki patlatma işlemi, daha önceki iki patlatma lokasyonu arasında yapılır).



Şekil 20. Patlatma sonucu zeminin ani olarak düşmesi (Soil Improvement-State of the Art Report/Blasting, ?)



Şekil 21. Patlatma yerleştirme makinesi ve dren kuyularından fişkıran kum-su-hava karışımı
(<http://www.bul.de>)

Patlatmanın en etkili olduğu zeminler, %20'den az silt ve %5'den az kil içeren gevşek kumlardır. Çok az miktardaki kil veya ince bir kil damarı bile, patlatmanın etkinliğini önemli derecede azaltabilmektedir.

* Patlatma kuru zeminlerde etkili olabilir fakat kısmen doygun zeminlerdeki kılcal çekim ve gaz kabarcıkları patlatmanın etkisini sıfırlayabilir. Bu nedenle, patlatma genellikle tamamen doygun zeminleri sıkılaştırmada kullanılmaktadır. Böyle zeminlerde patlatma ile oluşturulan şok dalgaları, zemin tanelerinin daha sıkı bir şekilde gelmesine yol veren ve geçici bir sıvılaşma oluşturur.

* Patlatma ile 30 m'ye varan iyileştirilmeler gerçekleştirilmiştir. Patlatma oldukça ekonomik olsa da, kullanımında pratik açıdan birkaç kısıtlama söz konusudur.

* Yakındaki yapılarda hasar oluşturabilecek düzeyde kuvvetli titreşimler meydana getirir veya önemli yer hareketlerine neden olabilir. Taşıma ve depolama açısından katı kurallar gerektiren potansiyel olarak tehlikeli patlayıcıların kullanımını gerektirir. Ayrıca, etkinlik derecesini kestirmek zordur.

1.3. Dinamik Kompaksiyon

(Dynamic Compaction: Heavy Tamping:
Dynamic Consolidation)

Dinamik kompaksiyon zeminlerin mekanik özelliklerinin derin seviyelere kadar iyileştirilmesine yönelik bir zemin ıslah yöntemidir. Bu teknik ilk olarak 1930'lu yılların ortalarında Almanya'da otoban inşasında kullanılmıştır (Loos, 1936).

* Ayrıca, eski S.S.C.B’de derinliği 5 metreye kadar olan l s zeminlerin (gev sek silt boyutu kuvars tanelerinden oluşan r zg r çökeli) sıkı tırılmasında kullanılmıştır (Abelev, 1957). Bu teknik Louis M nard tarafından birtakım yeni düzenlemelerle geliştirilmiş olarak Fransa’da ve başka yerlerde kullanılarak  nc l  y  yapılmıştır (M nard ve Brosie, 1975).

Dinamik kompaksiyon tekniği ile stabil olmayan, sıkışabilir (konsolide olabilen) zeminlerin ıslah edilmesi oldukça kolay ve ekonomik olmaktadır. Dinamik kompaksiyon, zemin üzerinde ağ şeklindeki noktalara büyük bir ağırlığı tekrarlı düşürmek suretiyle gerçekleştirilir. Genellikle elik veya donatılı betondan yapılan ağırlık 5,5 ila 27,5 ton arasındadır (şekil 22 ve 23).



Şekil 22. Dinamik Kompaksiyon aracı
(<http://www.sangjee-menard.co.kr>)



Şekil 23. Çelik veya donatılı betondan
yapılan ağırlık (<http://www.keller-ge.co.uk>)

* Bazı durumlarda 200 tona çıkan ağırlıklarda kullanılmaktadır. Düşürme yüksekliği de genellikle 10 ila 30m arasında değişir. Bazen bu yükseklik 40 m' ye çıkabilir. Ağırlıklar ağ üzerindeki bir noktaya genellikle 3 ile 8 arasında değişen sayılarda düşürülür. Bu işlem bir veya daha fazla pasda (geçişte) tüm alana uygulanır ve her pasdan sonra oluşan çukurlar (kraterler) (Şekil 24 ve 25) ya dozer ile düzeltilmekte veya içleri granüler malzeme ile doldurulmaktadır.



Şekil 24. Çok sayıda düşme sonucu oluşmuş
çukurlar (kraterler)
(<http://www.keller-ge.co.uk>)



Şekil 25. Çok sayıda düşme sonucu
oluşan çukurların havadan görünümü
(<http://www.ce.washington.edu>)

Her bir nokta için her bir pas için gerekli düşüş sayısı, oluşan çukur derinliği ile sınırlandırılmalıdır. Genel olarak çukur derinliği tokmak yüksekliğinden 30 cm daha fazla olmamalıdır (Şekil 26 ve 27). Eğer gerekli enerji miktarı bu çukur derinliğinden daha fazlasını yaratıyorsa dinamik kompaksiyon birkaç pasda yapılmalıdır.

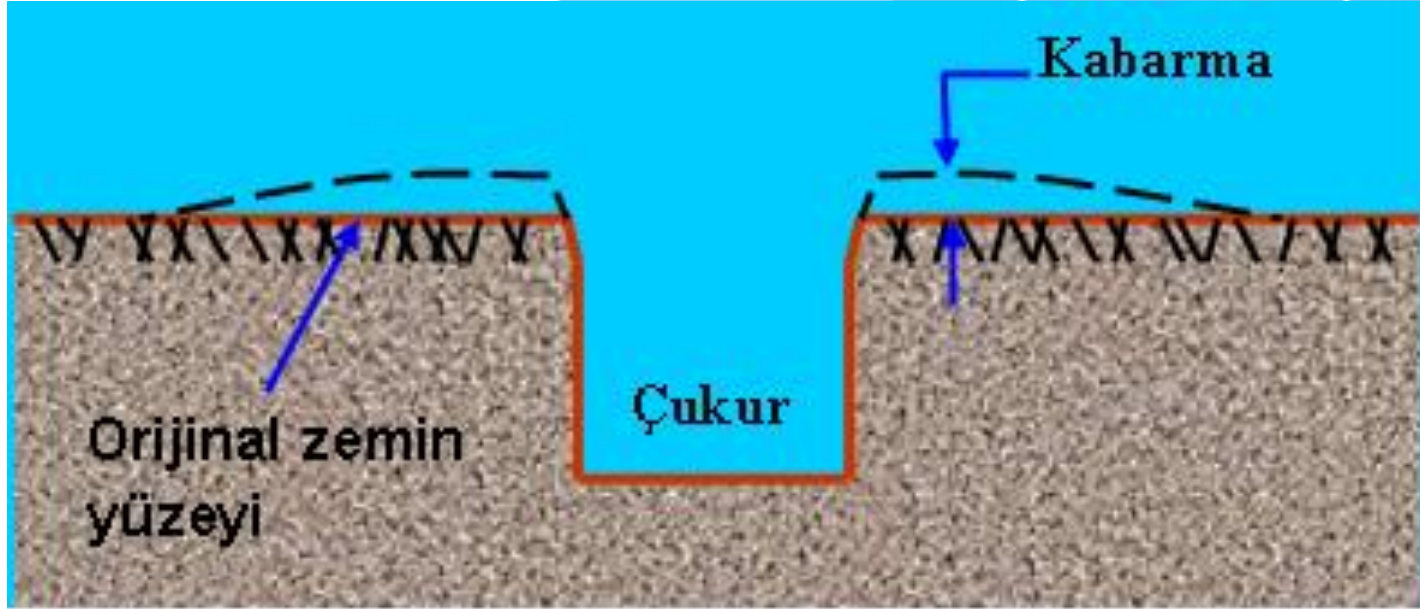


Şekil 26. Tokmak boyutlarının ölçülmesi, Hokkaido-Japan (<http://cee.engr.ucdavis.edu>)



Şekil 27. Çukur boyutlarının ölçülmesi, Hokkaido-Japan (<http://cee.engr.ucdavis.edu>)

Dinamik kompaksiyon sırasında Şekil 28’de görüldüğü gibi çukurların kenarında zeminde kabarmalar oluşabilir. Özellikle aşırı boşluk suyu basınçları oluştuğunda dinamik kompaksiyonla zeminin sıkışmasından ziyade hacimsel yer değiştirmesi bu kabarmaları yaratmaktadır. Yani zemin plastik olarak hacim değişikliğine uğramadan yer değiştirmekte ve uygulanan enerji boşluk suyu basıncı ile dengelenmektedir. Dolayısıyla dinamik kompaksiyonun zeminin sıkışmasında herhangi bir etkisi olmamaktadır.



Şekil 28. Çukurların etrafında zemin kabarması (www.fhwa.dot.gov)

Dinamik kompaksiyon sırasında yeraltı su seviyesi 2 m' den daha derinde olmalıdır. Aksi halde başarılı olunamayacağı gibi yeraltı su seviyesinin yükselmesine de sebep olacaktır. Bu nedenle uygun bir drenaj tekniği ile yeraltı su seviyesi düşürülmelidir.

* Ayrıca zayıf bir tabaka üzerinde sağlam bir tabaka mevcutsa veya sağlam tabakalar arasında sıkışabilir tabaka varsa dinamik kompaksiyon ile ıslah derinliği önemli ölçüde etkilenmektedir. Eğer yüzeydeki sağlam zemin kalınlığı 1 ila 2m ise ya kaldırılmalı ya da riperlenerek gevşetilmelidir. Böylece daha derin ve daha iyi sıkışma elde edilmektedir.

Eğer yüzeyde yumuşak zemin varsa ya kazılmalı ya da yüzeye granüler zemin (özellikle kum) serilip kompaksiyon sırasında yumuşak zemine gömülmesi sağlanarak stabilize edilmelidir.

* Ayrıca derinlerdeki yumuşak zeminler dinamik kompaksiyon sırasında dinamik enerjiyi absorbe ederek daha derinlere dinamik enerjinin iletilmesini azaltabilir. Böyle durumlarda arazi gözlemleri ve ölçümleri ile sıkışma derecesi kontrol edilmeli ve uygun değilse başka stabilizasyon yöntemlerinin (örneğin kum veya taş kolonları, vibroflotasyon, enjeksiyon, vb.) kullanılması araştırılmalıdır.

1.3.1. Mini Dinamik Kompaktör (MDC)

Dinamik Kompaksiyon tekniği ile zemin iyileştirilmesinde çok yüksekten büyük ağırlıkların düşürülmesi gerekir. Güney Afrika'da kullanılan tipik vinçlerin kaldırma kapasitesi 10 ila 16 ton arasındadır ve düşme yüksekliği de yaklaşık 25 m'den biraz fazladır.

* Dinamik Kompaksiyonun uygulanabilme zorluğu ve çoklu kompaksiyon ihtiyaçlarından dolayı altyapı marketleri tarafından geliştirilen ve Landpac'ın sahibi olduğu Mini Dinamik Kompaktör aracı (Şekil 29, 30, 31) ile yüzeyden maksimum 5 m derinliğe kadar zemin kompaksiyonu yapılabilmektedir.

* Mini Dinamik Kompaktör çok yönlü-
çok amaçlı bir araç olup, 2 tonluk bir
kütleyi 1 m yükseklikten dakika
başına 30 darbe indirme
kapasitesine sahiptir ve bir kamyon
üzerine monte edilmiştir
(<http://www.landpac.com>).



Şekil 29. Mini Dinamik Kompaktör aracı (<http://www.landpac.com>)



Şekil 30. Mini taş kolonları kompaksiyonu
(<http://www.landpac.com>)



Şekil 31. Demiryolu hattı altrampaları kompaksiyonu
(<http://www.landpac.com>)

1.3.2. Yüksek Enerjili Darbeli Silindir

Yüksek Enerjili Darbeli silindir ilk kez Güney Afrika'da 1940 yılında bir yol projesi için mühendis Aubrey Berrenge tarafından kullanılmıştır. Daha sonra 1949 ila 1953 yılları arası Aubrey Berrenge kare modeller üzerinde çalışarak üç yanlı darbeli silindiri geliştirmiştir.



*1970 yılında ise bu kompaksiyon ekipmanları ilk kez derin kompaksiyon için yol, havaalanı ve birçok projede kullanılmıştır. 1990 yılında Landpac tarafından Yüksek Enerjili Darbeli Silindirin (Şekil 32) patent hakları satın alınmıştır.



Şekil 32. 25 kJ'lük 3-yanlı darbeli silindir-Kruger Mpumalanga International Airport, Nelspruit, South Africa (<http://www.landpac.com>)

YÜZEYSEL KOMPAKSİYON İLE DERİN KOMPAKSİYON ARASINDAKİ FARKLAR

Yüzeysel Kompaksiyon Derin Kompaksiyon

- * Sıkıştırma derinliği azdır
- * Sıkıştırma maliyeti azdır
- * Birçok zeminde uygulama kolaylığı
- * Ayrıca ek işleme gerek yoktur
- * Kompaksiyonun kontrolü daha kolaydır

- Sıkıştırma derinliği fazladır.
- Sıkıştırma maliyeti fazladır
- Özel şartlara sahip zeminlerde kullanılabilir
- Yüzeyi bozduğundan, yüzeysel kompaksiyona ihtiyaç vardır
- Kompaksiyonun kontrolü daha zordur

YÜZEYSEL KOMPAKSİYON İLE DERİN KOMPAKSİYON ARASINDAKİ FARKLAR

Yüzeysel Kompaksiyon Derin Kompaksiyon

- * Statik basınç, yoğurma ve titreşimle yapılır
 - * Mevcut yapıların yanında uygulanabilir
 - * Arazi ekipmanlarının taşınma ve kurulma problemi yoktur
- Titreşimle sıkıştırma yapılır
 - Birçok derin kompaksiyon yöntemi büyük titreşimler oluşturduğundan, mevcut yapılar yanında uygulanması tehlikelidir.
 - Arazi ekipmanlarının taşınma kurulma problemi vardır

2. KATKI MADDELERİ YARDIMIYLA ZEMİN İSLAHİ

Genellikle kireç, uçucu kül, çimento ve asfalt kullanılarak zeminler stabilize edilir. Katkı maddesi kullanılmasının başlıca amaçları şöyledir:

- Zemini iyileştirmek
- Yapımı hızlandırmak
- Zeminin dayanımını artırmak

* 2.1 Kireçle Stabilizasyon

Genellikle ince taneli zeminlerde uygulanır. Zemine kireç eklendiğinde kimyasal reaksiyonlar meydana gelir. Bu reaksiyonlar sırasında zemindeki tek değerlikli katyonlar, kireteki iki değerlikli kalsiyum iyonlarıyla yer değiştirir. Bu değişim sonunda killer, daha büyük boyutlu parçacıklar oluştururlar.

Kireçle stabilizasyon sonucunda,

- * Likit limit azalır
- * Plastik limit artar
- * Plastisite indisi azalır
- * Rötire limiti artar
- * Çalışabilirlik artar
- * Zeminin dayanım ve deformasyon özellikleri gelişir.

Söz konusu değişikliklere bağlı olarak,

- * Zeminin sıkışma karakteristikleri değişir. Zeminin maksimum kuru birim hacim ağırlığı (γ_{kmax}) azalırken optimum su muhtevası artar.
- * Zeminin tek eksenli basınç dayanımı %6'lık bir kireç ilavesiyle yaklaşık olarak 6 kat artar

KİREÇLE STABİLİZASYON ADIMLARI



Şekil 33. Zeminin gevşetilme işlemi



Şekil 34. Kireç serilme işlemi

KİREÇLE STABİLİZASYON ADIMLARI



Şekil 35. Greyder ile karıştırma işlemi



Şekil 36. Sulama işlemi

KİREÇLE STABİLİZASYON ADIMLARI



Şekil 37. Sıkıştırma işlemi

2.2 Çimentoyla Stabilizasyon

- * Daha çok ağır vasıta yolları ve toprak dolgu barajlarda uygulanır.
- * Kumlu ve düşük plastisiteli killi zeminler için uygun bir yöntemdir.
- * Bentonit, montmorillonit gibi kalsiyum killeri için oldukça uygundur

Çimentoyla stabilizasyon ile,

- * Zeminin likit limiti azalır
- * Zeminin plastisite indisi artar
- * Killerde çalışabilirlik artar
- * Zeminin dayanımı artar (kür süresi arttıkça dayanım artar)

- 
- * Killi zeminler için, 200 nolu elekten geçen malzeme miktarı %40'tan az, likit limit 45 – 50'den az ve plastisite indisi %25'ten az olduğu durumlarda çimento stabilizasyonu etkilidir.

2. ENJEKSİYON

En eski ve en çok kullanılan zemin iyileştirme yöntemlerindendir. Daha çok taneli zeminlerde uygulanır. Kimyasal veya bentonit-çimento enjeksiyonu olarak genellikle örtü enjeksiyonu şeklinde uygulanır. İyi tasarım ve sıkı kontrollü uygulama ile zemin iyileştirmesi başarılabilir. Geçirimsizlik için de çok yararlanılan bu uygulama, insan gücü katılımının en fazla olduğu yorucu fakat ekonomik bir zemin iyileştirme yöntemidir.

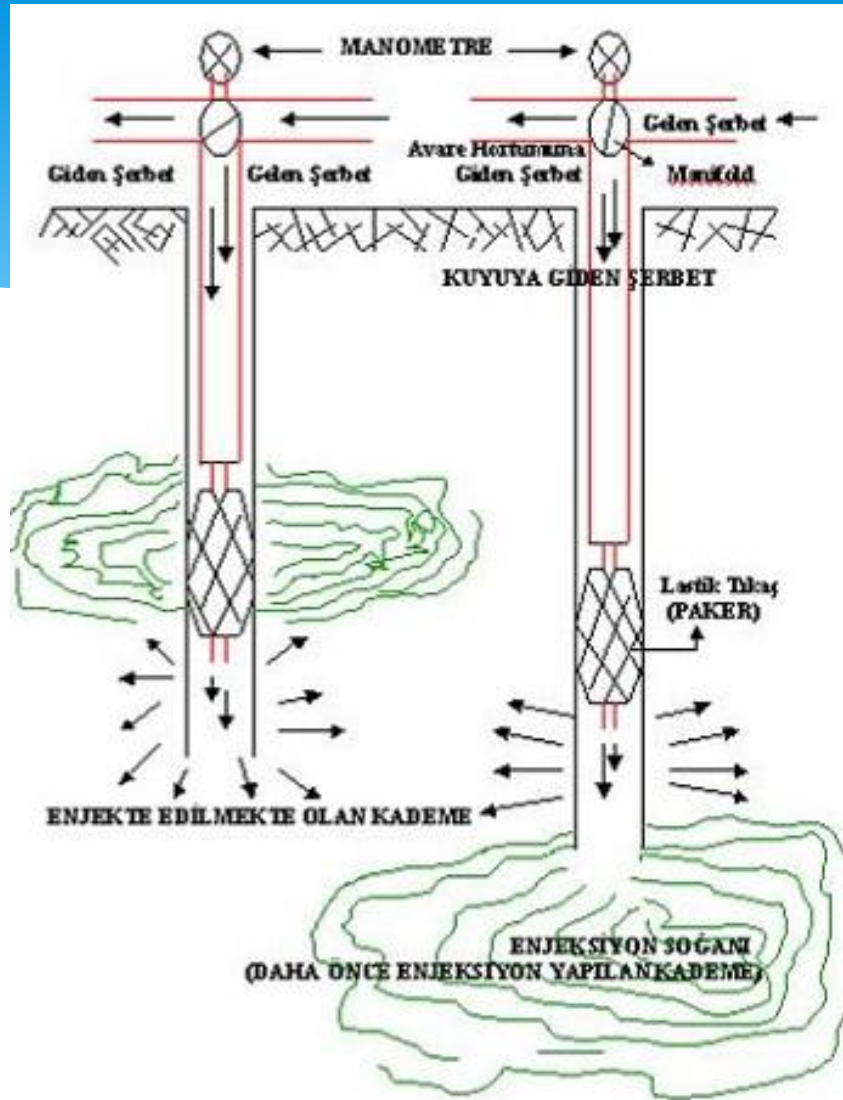
Projede belirlenen yere, teknik bilgiler vasıtasıyla hazırlanan enjeksiyon karışımı basılır. Bunun için;

- İlk olarak delici makine ile açılan kuyu içine bırakılan tij+matkap ucundan zemine enjeksiyon karışımı basılır. Projeye göre tatbik noktası üzerinde kuyuya packer yerleştirilerek, enjeksiyon karışımının zemine girmesi sağlanır.

- * Zemin enjeksiyon karışımına doyunca, packer daha yukarı alınarak enjeksiyon karışımının daha üst seviyelere verilmesi sağlanabilir. Su/çimento oranı 3/1 gibi ince karışım olarak başlanabilir, sonra 1/1 ve 1/3 gibi kaba karışıma gerekirse kum ilave edilerek, zeminin dolmasına gayret edilir. Bahsedilen tek kademeli packerli aşağıdan yukarıya metodunun yanı sıra çift packerli uygulama da yapılabilir. Yukarıdan aşağıya kademeli yöntemle zemini iyileştirerek daha derinlere inmek mümkündür.

Zeminin doymasına enjeksiyon refüsü denir ve karışım geri dönerek, enjeksiyon istasyonuna alınır.

İnce karışım ile başlayarak kaba karışıma geçmek, refüden sonra da ince karışım tatbiki ile enjeksiyonu tamamlamak tercih edilir. Şekil.38’de enjeksiyon uygulama aşamaları verilmiştir.



Şekil 38. Enjeksiyon Uygulama Aşamaları

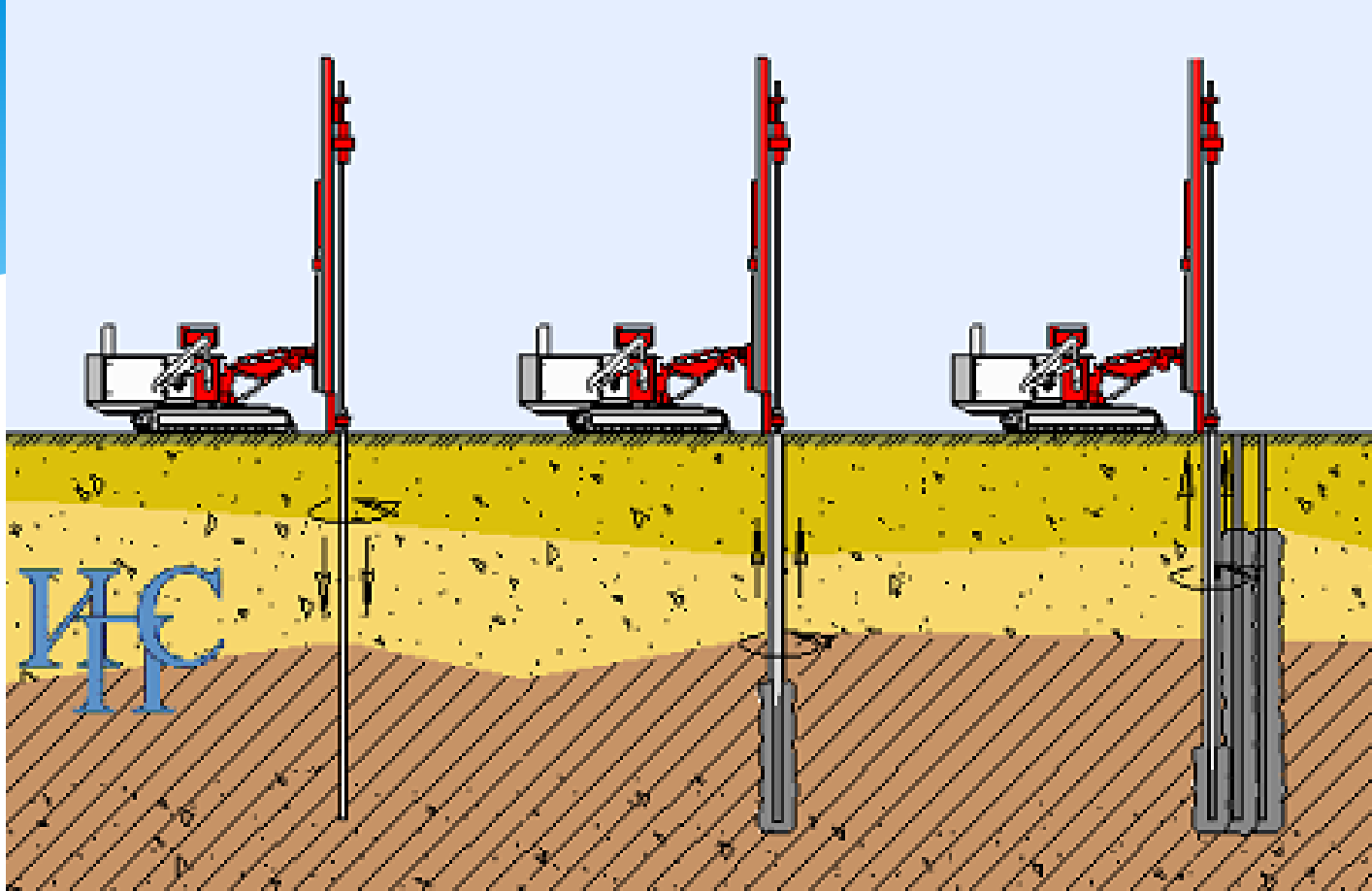
* 3.2. JET-GROUTING

Killi zeminde konsolidasyon, siltli-kumlu-çakıllı zeminlerde iyileştirme sağlayan 300-500 bar gibi yüksek basınçlı çimento enjeksiyonunun zemine tatbiki ile jet grouting kolonu oluşturulabilir. Jet grouting işlemi iki safhadan oluşmaktadır:

* a) Delme işlemi; Ø 10 cm kalıģındaki delici ekipmanı, makine gücü ve basınçlı su yardımı ile zemine-proje kotuna kadar sokmaktır. Bunun için döner delgi sistemi ile kil matkabı, üç konili matkaplar ve dayanıklı tijler kullanılmaktadır.

* b) Enjeksiyon Uygulaması; Delgi tamamlandığında 1/1 'lik karışımdan oluşan çimento şerbeti, oldukça yüksek basınç(300-500 bar) ile zemine verilirken, delici takımın zaman ayarlayıcı(timer) yardımı ile dönerek yukarıya doğru çekilmesinden ibarettir. Böylece yüksek hızlı enjeksiyon karışımı zemini yırtarak, dairesel bir kolonun zeminde oluşmasını sağlar.

* Çimento ve zeminin karışmasından oluşan soilcrete olarak adlandırılan nispeten yüksek dayanımlı bu kolon, aynı zamanda zeminin sıkıştırılarak konsolide olması da sağlar. Şekil.39'da jet grouting kolonu imalat aşamaları verilmiştir.



Şekil 39. Jet Grouting Kolonları Oluşturma Aşamaları

2.3 Uçucu Külle Stabilizasyon

- * Uçucu küller sönmüş kireçle kullanımı sonrası çimentolanma gözlenir. %10 - 35 uçucu kül ve %2 – 10 kireç kullanılarak etkili karışımlar elde etmek mümkündür.
- * Yapısında kireç içeren küller de mevcuttur. Bu küller normal uçucu küllerle karıştırılarak, kirece ihtiyaç duyulmadan aynı etkiyi gösterecek karışım elde edilebilir. Maliyeti önemli ölçüde azalttığı için tercih sebebidir.

2.4 Jeotekstiller

- * Zeminde donatı olarak kullanılan, petrolden yapılan, polyester, polietilen ve polipropilen gibi geçirimli dokumalardır. Özellikle otoyol ve toprak dolgularda kullanılır (Şekil 40-41.).

Jeotekstil Kullanım Amaçları

- * Drenaj: Jeotekstiller suyun drenajını kolaylaştırarak zeminin kesme dayanımını ve stabilitesini arttırır.
- * Filtrasyon: Kaba taneli ve ince taneli iki zemin arasında kullanıldığında, suyun bir tabakadan diğerine geçişine izin verirken, ince taneli zeminin kaba taneli zemin içerisine ilerlemesini önler.

Jeotekstil Kullanım Amaçları

- * Ayırma: Killi bir üst dolguyu, granüler bir taban dolgusundan ayırmayı sağlar.
- * Donatı: Jeotekstillerin çekme dayanımına bağlı olarak, zeminin dayanma kapasitesi artar.



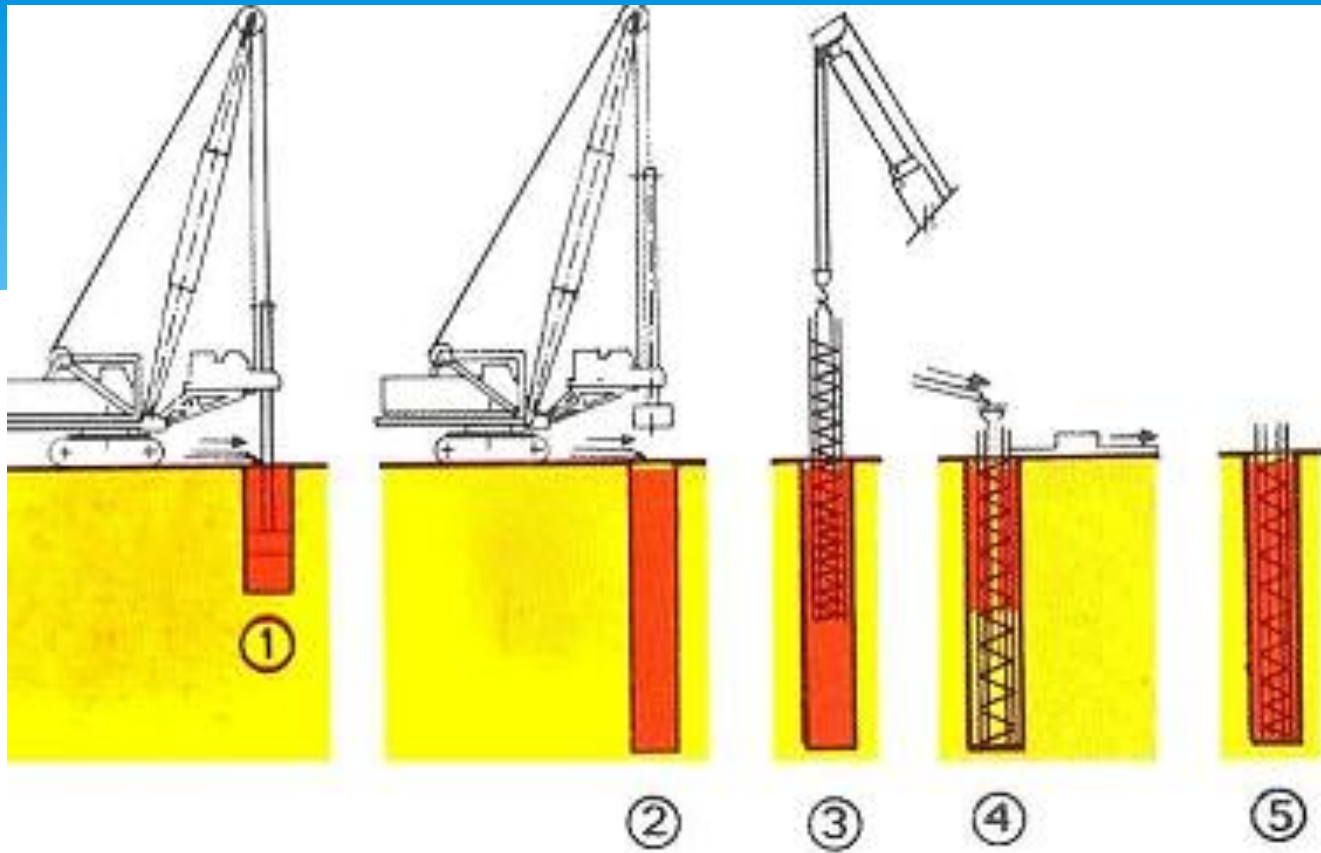
Şekil 40. Jeotekstil uygulaması



Şekil 41. Jeotekstil uygulaması-2

* 3.3. FOREKAZIK ve MİNİKAZIKLAR

Forekazıklar, kendini tutabilen ve tutamayan zeminlerde, temelin sismik hareketlerden etkilenmesini önlemek için, Ø65-150 cm çap aralığındaki deliğin içerisine donatı yerleştirilerek betonla doldurulması ile imal edilen kazıklardır. Deprem sırasında oluşacak temel hareketini azaltmanın en etkin yöntemlerinden biri olan ve derin temel olarak tanımlanır. Forekazıklar, zeminde yanıl ötelenme ve buna bağılı olarak komşu zeminde sıkışma yaratmayan kazıklardır (Şekil 42.).



Şekil 42. Forekazık İmalat Aşamaları

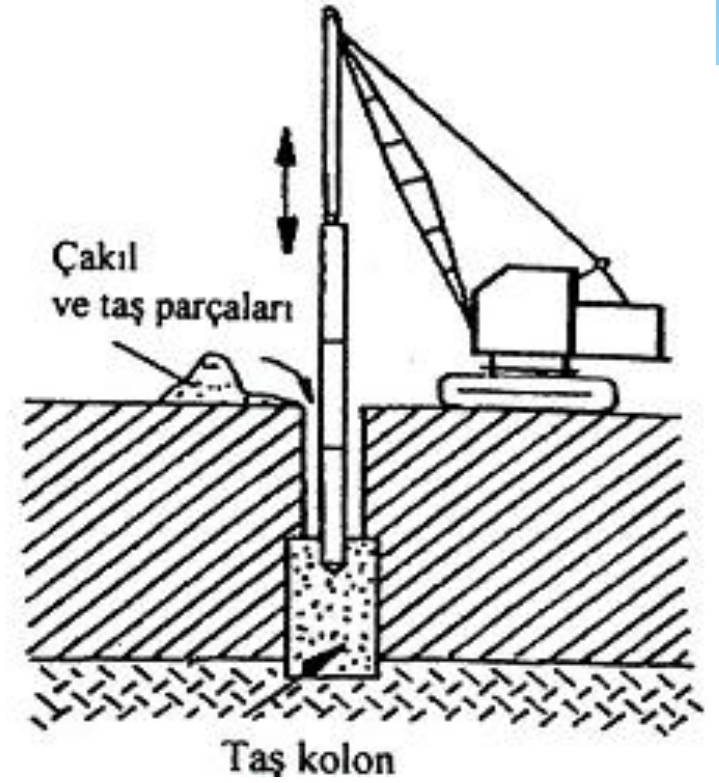
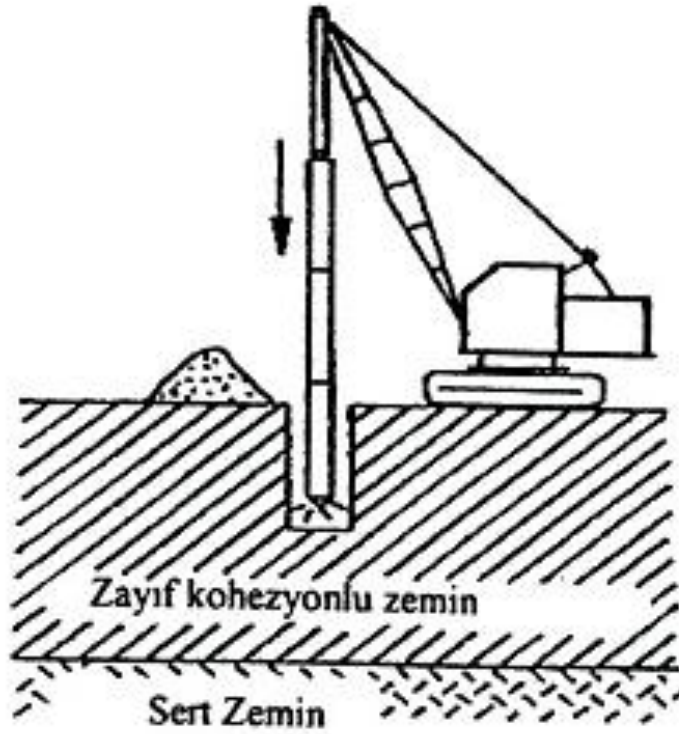
- 1- Bentonit bulamacı koruması altında delgi
- 2- Bentonit blamacı ile sıvanmış kazık kuyusunun bitirilmesi
- 3- Bentonit bulamaçlı kuyuya donatının indirilmesi
- 4- Bentonit bulamaçlı kuyuya beton dökülmesi, bulamacın kuyu dışarısına atılması
- 5- Bitmiş kazık

3.4. TAŞKOLONLAR

Taşkolonlar, genellikle yumuşak ve orta yumuşak killi zeminlerde kullanılmaktadır. Bu yöntemin amacı, zemin üzerine gelen yükleri taşkolon ile zeminin ortaklaşa taşımasıdır. Taşkolonlar, hem taşıma gücüne hem de oturmanın azalmasına katkıda bulunurlar. Ayrıca, düşey dren gibi çalışıp oturma hızlarını artırırlar. Kohezyonu az, fakat ince taneli(killi-siltli) zeminlerde sıvılaşmaya karşı da önerilmektedir. Alüvyon ve değişken zeminlerde vibrokompaksiyon ile birlikte uygulanmaktadır.

Taş malzeme, zemin içersine dik olarak, 0,6-1.0. m çapında ve 20 metreye kadar derinliklere çeşitli yöntemlerle yerleştirilir ve sıkıştırılır. Genel olarak 20-75 mm arası kırma taş malzeme yaygın olarak kullanılmasına karşın, doğal kaba çakıl agrega veya kum-çakıl karışımları da kullanılmaktadır.

* Yumuşak killerde boru çakma ve doldurarak çekme yöntemi uygulanmaktadır. Diğer zeminlerde ise, genel olarak tonaj yöntemi uygulanmakta olup, kolonların ucunun sert zemine girmesi istenmektedir (Şekil 43.).



Şekil 43. Taşkolon imalat işlemleri