Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendisliği
20. Ulusal Konferansı

15-16 Ekim 2026
Sakarya Üniversitesi

KESİCİ ZEMİN KARIŞTIRMA İLE ZEMİN İYİLEŞTİRMESİ

SOIL IMPROVEMENT WITH CUTTER SOIL MIXING

Uğur MURSAL[1], Burak EVİRGEN[2], Candan GÖKÇEOĞLU[3]

ÖZET

Kesici zemin karıştırma (CSM) yöntemi ile zeminlerin iyileştirilmesinde kullanılan yeni bir yöntem olup, henüz ülkemizde yaygın kullanılmamaktadır. CSM ile kohezyonlu, kohezyonsuz ve rezidüel kaya gibi geniş bir yelpazedeki zemin ve kaya türevleri iyileştirilebilmektedir. Diğer zemin iyileştirme yöntemleri ile kıyaslandığında CSM yöntemi hem geometrik adaptasyon kabiliyeti hem de geniş çeşitlilikte uygulanabilirliği sayesinde operasyonel ve uygulama sonrası dayanım özellikleri açısından belirgin avantajlar sunmaktadır. Bu teknoloji iksa duvarları, geçirimsizlik perdeleri ve taşıma gücünü artırıcı temel altı iyileştirme projelerinde başarıyla kullanılmaktadır. Bu çalışmada öncelikle CSM'in genel teknik özellikleri verilmekte devamında ise vaka analizi olarak Sivas yakınlarında bir projedeki uygulama sunulmaktadır. Vakada karstik boşluk ve obruk oluşumu ihtimali olan bir alanda bulunan jipsli ve killi birimlerin iyileştirilmesi hedeflenmiştir. Sahadaki heterojen zemin yapısına ve boşluk anomalilerine karşı yüksek rijitlik sunması nedeniyle CSM yöntemi en uygun iyileştirme yöntemi olarak seçilmiştir. Çalışma kapsamında, sahadan elde edilen karot numuneleri ve gerçek zamanlı veri izleme sonuçları ışığında yöntemin zorlu jeolojik koşullardaki performansı değerlendirilmektedir.

Anahtar Kelimeler: *Kesici Zemin Karıştırma (CSM), Zemin İyileştirme, Karışım Oranları, Dayanım*

ABSTRACT

Soil improvement using Cutter Soil Mixing (CSM) is a novel technique and still remains largely limited utilized in our country. The CSM method enables the treatment of a broad spectrum of soil and rock formations, including cohesive soils, cohesionless soils, and highly weathered rocks. Compared to other ground improvement methodologies, CSM offers distinct advantages in terms of operational performance and post-improvement strength characteristics, largely owing to its geometric adaptability and versatile applicability. This technology is successfully employed in the construction of retaining walls, impermeable cut-off walls, and foundation support systems to enhance bearing capacity. As a case study, the project in Sivas targeted the improvement of gypseous and clayey units prone to karstification and sinkholes. The CSM method was selected as the optimal soil improvement alternative due to its high rigidity against the heterogeneous soil structure and cave anomalies in the study area. Within the scope of this study, the performance of the method under challenging geological conditions is evaluated using core samples obtained from the site alongside real-time data monitoring results.

Keywords: *Cutter Soil Mixing (CSM), Soil Improvement, Mix Design, Strength*

[1] Yük. İnş. Müh., Eskişehir Teknik Üniversitesi, umursal@ogr.eskisehir.edu.tr (Sorumlu Yazar)
[2] Doç. Dr., Eskişehir Teknik Üniversitesi, burakevirgen@eskisehir.edu.tr
[3] Prof. Dr., Kapadokya Üniversitesi, candan.gokceoglu@kapadokya.edu.tr

1. GİRİŞ

Derin karıştırma, zeminlerin veya dolguların yerinde çimento esaslı bağlayıcılarla mekanik olarak karıştırılarak mukavemetinin arttırıldığı, geçirimliliğinin ve sıkışabilirliğinin düşürüldüğü bir zemin iyileştirme yöntemidir. Bu teknolojinin en gelişmiş ve yenilikçilerinden biri olan Kesici Zemin Karıştırma (Cutter Soil Mixing - CSM) yöntemi, bağlayıcının zemine şerbet (slurry) formunda enjekte edildiği "Islak Karıştırma" (Wet Mixing) sınıfında yer almaktadır (FHWA, 2013). Geleneksel dairesel burgulu sistemlerden farklı olarak CSM, diyafram duvar teknolojisinden esinlenilerek geliştirilmiş olmakla birlikte yatay eksende zıt yönlerde dönen hidrolik kesici çarklar aracılığı ile zemini parçalar ve eş zamanlı enjeksiyon yaparak homojen dikdörtgen paneller oluşturur. Genel olarak uygulama, kesici kafaların zemini parçalayarak ilerlediği penetrasyon ve hedeflenen derinlikte nihai karıştırmanın yapılarak panelin tamamlandığı geri çekilme fazlarından oluşmaktadır.

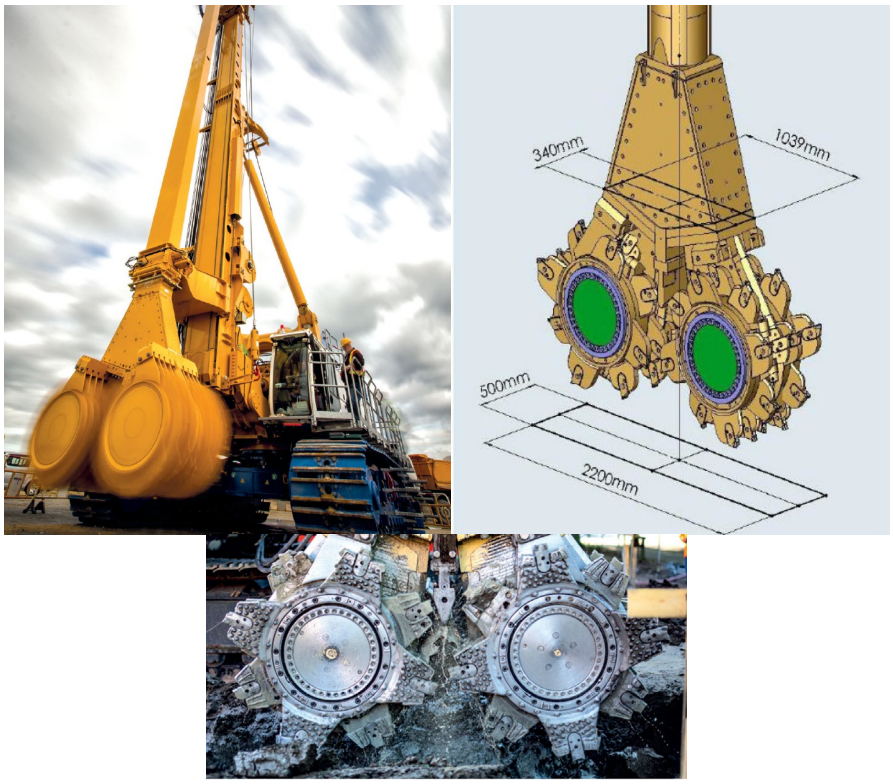
CSM yönteminin sunduğu avantajlar, yöntemi geoteknik projelerde uygulanabilir bir tercih haline getirmektedir. Yöntem; yumuşak killerden gevşek kumlara, hatta 50 MPa sıkışma dayanımı olan orta-sert kayalara kadar çok geniş bir litolojik yelpazede soketleme yapabilme kabiliyetine sahiptir. Panellerin dikdörtgen geometrisi ve kesişimli imalat imkânı, özellikle iksa duvarlarında ve geçirimsizlik perdelerinde tam sızdırmazlık sağlaması için kullanılabilir. Ayrıca, düşük vibrasyonla çalışması çevre yapılara verilen zararı minimize ederken, diğer ıslak karıştırma yöntemlerine kıyasla kazı artığı miktarını belirgin şekilde azaltarak operasyonel verimliliğe sahiptir.

Bu çalışma kapsamında öncelikle CSM'nin genel teknik özellikleriyle uygulama esasları sunulmakta, devamında ise bir örnek çalışma sunulmaktadır. Vaka olarak sunulan Sivas yakınlarındaki proje CSM yönteminin zorlu jeolojik koşullardaki performansının değerlendirebildiği bir örnektir. Proje sahası, karstik boşluk ve obruk oluşumu tehlikesine sahip, jipsli ve yüksek plastik killi birimlerden oluşan heterojen bir yapıya sahiptir. DSM ve plastik kazık gibi geleneksel iyileştirme yöntemlerinin yetersiz kalabileceği, ayrıca uygulama güçlüklerine sahip bu karstik yapıda, yüksek rijitlik ve taşıma kapasitesi sunması nedeniyle CSM yöntemi en uygun alternatif olarak dikkate alınmıştır. Sahadan elde edilen gerçek zamanlı üretim logları ve panellerden alınan karot numuneleri üzerindeki sıkışma dayanımı (UCS) sonuçları, CSM'nin jipsli ve boşluklu sahalarda güvenli ve başarılı bir uygulama modeli olabileceğini göstermiştir.

2. KESİCİ ZEMİN KARIŞTIRMA YÖNTEMİ

Bu bölümde, derin karıştırma yöntemlerinin modern ve yenilikçi bir türevi olan CSM teknolojisinin teknik temelleri, uluslararası standartlardaki yeri ve uygulama esasları sunulmaktadır. Yöntemin teknolojik altyapısı, diyafram duvar freze teknolojisinden esinlenerek geliştirilmiştir. Mekanik prensip olarak, dikey bir karıştırıcı başlığa monte edilmiş ve yatay eksende zıt yönlerde dönen iki çift kesici çark kullanılmaktadır (Şekil 1). Bu sistem, sert plastik killerden iri çakıllı birimlere kadar mekanik olarak kesilebilen tüm zeminleri mikronize düzeyde parçalayarak bağlayıcı şerbetiyle homojen bir matris oluşturur. CSM'in en ayırt edici özelliklerinden biri, kesici başlık içindeki enstrümantasyon vasıtasıyla x, y ve z koordinatlarının gerçek zamanlı olarak izlenebilmesi ve yüksek enerji kapasitesi sayesinde sert tabakalarda dahi soketleme yapabilmesidir.

Uygulama sonucunda, ekipman kapasitesine bağlı olarak kısa kenarı 0,50m- 1,20m, uzun kenarı ise 2,20m - 2,80m arasında değişen homojen dikdörtgen paneller elde edilmektedir. Takip eden alt başlıklarda, bu teknolojinin dünya çapında kabul görmüş tasarım kriterleri ve operasyonel verimliliğini belirleyen kalite kontrol parametreleri incelenecektir.



Şekil 1. CSM sistemi ve makine parçaları (BAUER, 2023)

2.1. Dünyada Kabul Görmüş Şartnameler ve Tasarım Kriterleri

FHWA (Federal Highway Administration)

Derin karıştırma (DMM) ve bu yöntemin bir türevi olan CSM için dünya çapında en temel referans, Federal Karayolları İdaresi (FHWA) tarafından yayınlanan kapsamlı tasarım ve uygulama kılavuzudur (FHWA, 2013). İlgili kılavuz yöntemleri bağlayıcının zemine verilme şekline göre ikiye ayırırken; CSM, bağlayıcının şerbet (slurry) formunda enjekte edildiği "Wet Mixing" (Islak Karıştırma) sınıfının en gelişmiş temsilcisi olarak kabul edilir.

TS EN 14679 (Execution of special geotechnical work - Deep mixing)

Avrupa ve Türkiye standartları çerçevesinde ise TS EN 14679 (2006) standardı esas alınmaktadır. Bu standartta CSM, "Cut-Mix-Injection" olarak tanımlanmakta ve uygulama esasları ile zemin parametrelerine yönelik atıflar Eurocode-7 (1997) standartlarına göre sunulmaktadır. Tasarım aşamasında oluşturulan panellerin taşıma gücü ve analiz yöntemleri, FHWA'nın sunduğu detaylı teknik kriterlere göre belirlenir.

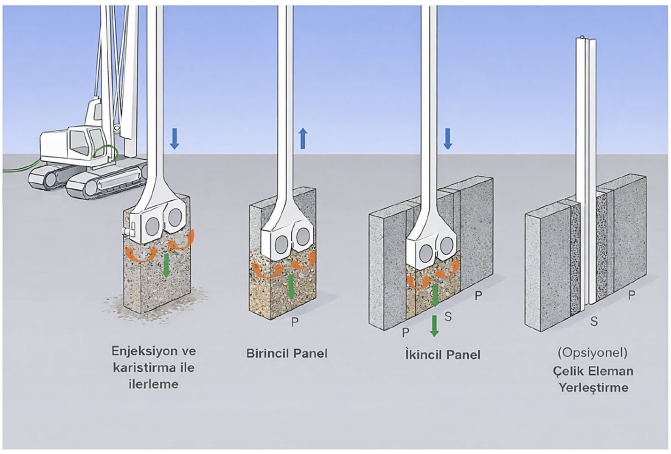
2.2. CSM Teknolojisi ve Uygulama Esasları

Uygulama süreci temel olarak iki fazdan oluşur (Şekil 2):

(a) Penetration (Aşağı İniş): Kesici kafalar zemini parçalarken, sürtünmeyi azaltmak ve karıştırmayı başlatmak için bağlayıcı şerbet veya akışkan enjekte edilir.

(b) Withdrawal (Yukarı Çıkış): Hedef derinliğe ulaşıldıktan sonra, nihai bağlayıcı tasarımı homojenliği sağlayacak şekilde yukarı yönlü tekrar karıştırılarak panel tamamlanır.

Bu mekanizma sayesinde zemin mikronize düzeyde parçalanarak bağlayıcı ile homojen bir matris oluşturur. CSM'in en büyük avantajı, sert plastik killerden kayalara kadar çok geniş bir yelpazede soketleme yapabilme kabiliyetidir. İmalat sonunda, kullanılan ekipmana göre genellikle 0,55m- 1,20m genişliğinde ve 2,20m- 2,80m uzunluğunda dikdörtgen paneller elde edilir.

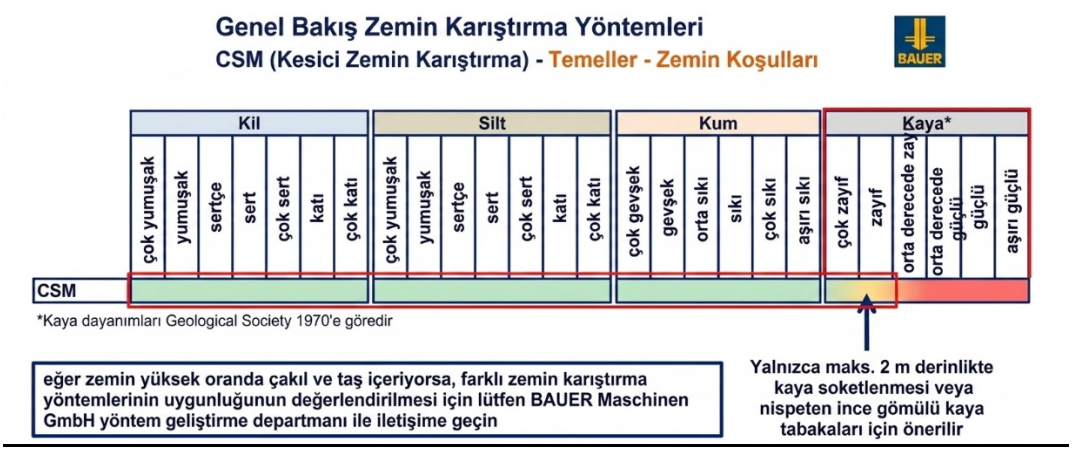


Şekil 2. CSM uygulama aşamaları (İKSA, 2026)

Yumuşak, kohezyonlu ve gevşek, doymuş ince taneli zeminlerde uygun karıştırma sağlayarak geoteknik anlamda oturma ve taşıma gücü kontrolünde kullanılabilir. Çok çeşitli zemin birimlerinde kohezyonsuz (kum-çakıl) ve yapay dolgu zeminlerde yüksek karıştırma verimliliği sağlayarak homojen paneller oluşturmaktadır (Şekil 3 ve 4). CSM teknolojisi, üzerinde barındırdığı yüksek torklu kesici diş modifikasyonları sayesinde klasik yöntemlerin tıkanıp kaldığı rezidüel ve bloklu (rocky/bouldery) birimlerde de başarıyla uygulanabilmektedir.



Şekil 3. DSM ve CSM panellerinin arasındaki geometrik fark (Fiorotto vd. 2006)

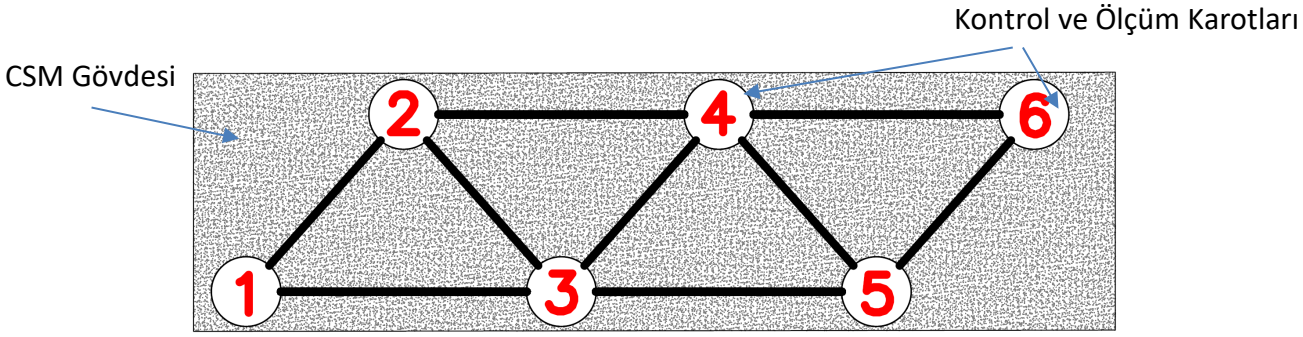


Şekil 4. CSM sisteminin uygulanabilirliği (BAUER, 2023)

2.3. CSM Uygulaması Kalite Kontrol Parametreleri

CSM uygulamasının başarısı, üretim sırasında gerçek zamanlı izlenen ve imalat sonrasında test edilen parametrelere dayanmaktadır:

- **Saha İzleme:** Kesici başlığın x, y ve z koordinatları, devir sayısı (rpm), penetrasyon ve geri çekilme hızları ile enjeksiyon basıncı ile hacmi sürekli olarak kaydedilir.
- **Verimlilik Katsayısı (BRN):** FHWA tarafından dairesel yöntemler için önerilen "Bıçak Rotasyon Sayısı" (Blade Rotation Number), CSM'de de iyileştirme verimliliğinin bir göstergesi olarak kullanılır. CSM için literatürde saatlik taranan zemin hacmi (örn: 33 m^3/saat) gibi kontrol verileri de ön plana çıkmaktadır.
- **Laboratuvar ve Bütünlük Testleri:** Sertleşmiş panellerden alınan karot numuneleri üzerinde Tek Eksenli Basınç Dayanımı (UCS) testleri yapılır. Ayrıca, imalatın sürekliliğini ve panel bütünlüğünü doğrulamak amacıyla Crosshole yöntemleri kullanılmaktadır (Şekil 5).
- **Kabul Kriterleri:** İmalatın kabulü için numunelerin en az %80-90'ının tasarım dayanımını karşılaması ve karot veriminin belirlenen limitlerde (genellikle %80 ve üzeri) olması gerekmektedir.



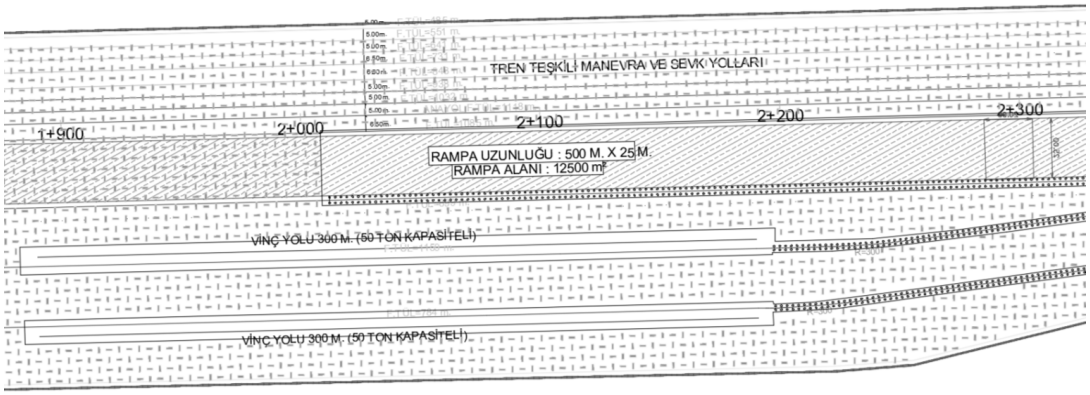
Şekil 5. Crosshole bütünlük testi uygulaması

3. VAKA ANALİZİ BULGULARI

Sivas Lojistik Merkezi ve demiryolu hattı projesi, karstik boşluk ve obruk oluşumu riski taşıyan jipsli (alçıtaşı) bir sahada gerçekleştirilmiş kritik bir geoteknik uygulamadır. Bölgenin jeolojik yapısı, çözünebilir kayaçlar ve yeraltı su sistemleri nedeniyle karstlaşma mekanizmasının hakim olduğu, mühendislik açısından oldukça zorlu bir profil sunmaktadır (Şekil 6). Proje sahasındaki demiryolu hatları ve lojistik merkezi çevresinde, karstik boşluk/obruk riskleri ile yüksek plastisiteli kil birimlerinden kaynaklanabilecek oturma ve taşıma gücü problemlerinin bertaraf edilmesi hedeflenmiştir (PROGEO, 2024). Proje kapsamında yer alan demiryolu hatları, 300 metre uzunluğunda ve 50 ton kapasiteli vinç yolları ile stok sahalarında oluşacak yüksek statik yükler ve dinamik etkiler, yapıların sahip olduğu düşük farklı oturma toleransı ile birleşerek CSM yöntemiyle yapılacak zemin iyileştirmesini stratejik bir öneme taşımıştır (Şekil 7 ve 8) (PROGEO, 2024).



Şekil 6. Sivas lojistik merkezi sahasında gözlenen obruklar



Şekil 7. Sivas lojistik merkezi projesi (PROGEO, 2024)



Şekil 8. Saha uygulamasına ait fotoğraflar

(a) Sahada yapılan sondajlar ve jeofizik (ERT) çalışmaları, yüzeyde belirti vermeyen ani obruk oluşumları ve yeraltı boşluk anomalilerini ortaya koymuştur. Özellikle çok katı kil altındaki jipsli birimlerde çözünme tehlikesi yüksektir.
(b) Proje alanında inşa edilecek yapıların düşük farklı oturma toleransına sahiptir. DSM ve plastik kazık gibi alternatifler değerlendirilmiş, ancak karstik boşluk anomalilerine karşı yüksek rijitlik ve taşıma kapasitesi sağlaması nedeniyle Kesici Zemin Karıştırma (CSM) yöntemi tercih edilmiştir. Bununla birlikte, DSM veya plastik kazıklara göre daha az sayıda CSM imal edilecek, dolayısıyla jipsli zemin CSM kolonu temas yüzeyi çok daha düşük olacağı için çözünme/erime için elverişli ortam oluşturan zayıflık düzlemlerin alanı çok daha düşük olacaktır.
(c) İmalat sürecinde kesici başlığın hareketleri ve enjeksiyon parametreleri gerçek zamanlı üretim logları ile takip edilmiştir. Sahada imal edilen dikdörtgen paneller sayesinde ayrışmış kaya ve kil birimler hacimsel olarak iyileştirilmiştir. Böylece olası oturma ve taşıma gücü risklerinin ortadan kaldırılması sağlanmıştır.
(d) CSM panellerinden alınan tam boy karot numuneleri üzerinde yapılan Tek Eksenli Basınç Dayanımı (UCS) testlerinde, 2 metreden 17 metreye kadar olan derinliklerde 4,1 MPa ile 4,8 MPa arasında yüksek dayanım değerleri elde edilmiştir (Şekil 10).

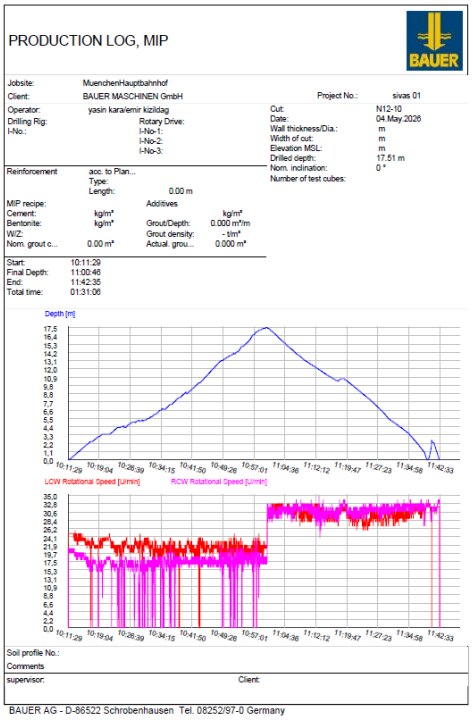
4. TARTIŞMA

Cutter Soil Mixing (CSM) yönteminin teknik gelişimi, saha performansları ve kalite kontrol süreçlerine odaklanan uluslararası çalışmaları kapsamaktadır. Bununla birlikte, literatürün genel karakteristiği, gerçek saha uygulamaları, büyük altyapı projeleri ve geoteknik firmaların teknik tecrübelerine dayanmaktadır.

Literatürdeki temel odak noktaları ve bulgular uygulama alanları, uygulama sonrası kontrol deneyleri ve parametrik çalışmalara odaklanmaktadır. Özellikle yeraltı su akışını kesmek için geçirimsizlik perdeleri, eğilme-iksa elemanları olarak derin kazı desteği ve rijit taşıyıcı elemanların oluşturulması suretiyle temel altı iyileştirme elemanlarının inşasında tercih edilmektedir (Gerressen ve Vohs, 2012; Peixoto vd., 2012). Ek olarak, CSM'nin sert tabakalarda soketleme yapabilme kabiliyeti ve mevcut altyapı borularına zarar vermeden imalat yapılabilmesine olanak tanıyan düşük vibrasyon özelliği de literatürde öne çıkmaktadır (Fiorotto vd., 2006)

Almanya, Hollanda ve Japonya'daki ilk CSM imalat denemeleri Brunner (2006) tarafından killi zeminlerde uygulanarak 5-8 MPa gibi yüksek basınç dayanımları elde edilmiş ve yöntemin dairesel kesitli geleneksel yöntemlere göre daha az fire ile daha nizami kesitler oluşturduğu vurgulanmıştır. Crowser vd. (2010) tarafından Seattle (Pioneer Square) projesi kapsamında 20 m derinliğindeki kazılarda uygulama yeri bulan CSM'nin ekonomik ve güvenli bir iksa çözümü olarak kullanılabileceğini kanıtlanmıştır.

Mendes vd. (2012) tarafından yapılan çalışmada, Lizbon'daki nehir kıyısı uygulaması sürecinde yüksek plastisiteli killerde CSM performansı araştırılmış ve 14 günden 91 güne artan sürede, kür etkisinin malzemenin basınç dayanımı, rijitliği ve efektif kayma mukavemeti parametreleri üzerindeki doğrusal artış eğilimi somut verilerle ortaya konmuştur. Son dönemlerdeki çalışmalarda (Rabbani vd., 2019; Li vd., 2022; Peixoto ve Gomes., 2024) CSM kolonlarında derinlik artışına bağlı çevre basıncı etkisi, çimento ikamesi olarak alkali-aktif cüruf kullanımı ile yöntemin kentsel alanlardaki farklı iksa metodolojilerine (ankrajlı, top-down vb.) adaptasyonu üzerinde durulduğu görülmüştür. Özetle literatür; CSM yönteminin homojen matris yapısı, litolojik çeşitliliğe uyumu ve yüksek mühendislik kontrolü sunması nedeniyle geleneksel derin karıştırma yöntemlerine göre daha verimli bir teknoloji olduğunu doğrulamaktadır.



Şekil 9. CSM Panelleri Uygulama Kontrolü ve Karot Basınç Deneyi Sonuçları (İKSA, 2026)



Laboratuvar Kodu	Karot Alınan Yer	Göze Muayene Sonucu	Donatı Çapı, Konumu		En Büyük Agrega Tane Boyutu	Temsil Ettiği Kütle (gr)	İlk Boy (mm)	Çap (mm)	Düzeltme Sonrası Boy (mm)	Düzeltme Sonrası Boy/Çap	Kırılma Yükü (kN)	Silindir Basınç Day. (N/mm²)
Z-9663	E19-28-1 / 2 m	Sağlam	-	-	-	1625	-	84	168	2/1	23,03	4,2
Z-9664	E19-28-1 / 6 m	Sağlam	-	-	-	1631	-	84	168	2/1	23,25	4,2
Z-9665	E19-28-1 / 10 m	Sağlam	-	-	-	1685	-	84	168	2/1	24,55	4,4
Z-9666	E19-28-1 / 14 m	Sağlam	-	-	-	1598	-	84	168	2/1	26,10	4,7
Z-9667	E19-28-1 / 17 m	Sağlam	-	-	-	1578	-	84	168	2/1	25,85	4,7
Z-9668	E19-28-2 / 2 m	Sağlam	-	-	-	1635	-	84	168	2/1	22,95	4,1
Z-9669	E19-28-2 / 5 m	Sağlam	-	-	-	1685	-	84	168	2/1	23,13	4,2
Z-9670	E19-28-2 / 8 m	Sağlam	-	-	-	1642	-	84	168	2/1	23,36	4,2
Z-9671	E19-28-2 / 12 m	Sağlam	-	-	-	1611	-	84	168	2/1	26,77	4,8
Z-9672	E19-28-2 / 17 m	Sağlam	-	-	-	1629	-	84	168	2/1	26,49	4,8

Şekil 10. CSM Karotları ve Basınç Deneyi Sonuçları (İKSA, 2026)

5. SONUÇLAR

Sonuç olarak bu çalışma kapsamında sunulan Sivas vaka analizi, CSM teknolojisinin heterojen zemin yapısına sahip, jipsli ve karstik sahalarda güvenli ve başarılı bir zemin iyileştirme modeli oluşturduğunu kanıtlamıştır. Çalışmada sunulan uygulama kapsamında sertleşmiş panellerden alınan tam derinlikli karot numuneleri üzerinde yapılan Tek Eksenli Basınç Dayanımı (UCS) deneylerinde, 2 m'den 17 m'ye kadar olan derinliklerde 4.1 MPa ile 4.8 MPa arasında yüksek ve istikrarlı dayanım değerleri elde edilmiştir. Bunun yanı sıra elde edilen veriler, Türkiye'deki jipsli ve karstik sahalarda yapılacak projeler için CSM yönteminin tasarım parametrelerinin ve BRN (Bıçak Rotasyon Sayısı) katsayılarının yerel zemin koşullarına göre optimize edilebileceğini göstermektedir.

TEŞEKKÜR

Yazarlar çalışma kapsamında vaka analizine ait saha uygulamalarını yapan İKSA MÜHENDİSLİK A.Ş.'ne teşekkür ederler.

KAYNAKLAR

Arnold, M., Beckhaus, K., and Wiedemann, U. (2011). Cut-off Wall construction using Cutter Soil Mixing: a case study. *Geotechnik*, 34(1), 11–21.

BAUER Maschinen GmbH. (2023). *CSM Cutter Soil Mixing: Methods* (Broşür No. 905.656.2). Schrobenhausen, Almanya: BAUER Maschinen GmbH.

Bellato, D., Simonini, P., Grisolia, M., Leder, E., and Marzano, I. P. (2013). *Quality control of Cutter Soil Mixing (CSM) technology – a case study*. Proceedings of the 18th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Paris.

Bruce, M. E. C., Berg, R. R., Collin, J. G., Filz, G. M., Terashi, M., and Yang, D. S. (2013). *Federal Highway Administration Design Manual: Deep Mixing for Embankment and Foundation Support (Report No: FHWA-HRT-13-046)*. Washington, DC: U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration.

Bruno, M., das Neves, M., Caldeira L., and Bilé Serra J. (2012). *Assessing the feasibility of a foundation treatment solution based on CSM panels at a river dock in Lisbon*. ISSMGE - TC 211 International Symposium on Ground Improvement IS-GI Brussels.

Brunner, W. G., Fiorotto, R., Stötzer, E., and Schöpf, M. (2006). The innovative CSM-Cutter Soil Mixing for constructing retaining and cut-off walls. *ASCE 2006 GeoCongress 2006*.

Crowser, H. (2010). Cutter Soil Mixing Excavation and Shoring in Seattle's Pioneer Square District. *ASCE 2010 Earth Retention Conference*, *3*.

EN 1997-1, Eurocode 7: Geotechnical design - Part 1: General rules.

Fiorotto, R., Schöpf, M., and Stötzer, E. (2006). Cutter Soil Mixing (C.S.M.) An innovation in soil mixing for creating cut-off and retaining walls. *Proceedings of the 16th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*.

Gerressen, F. W., and Vohs, T. (2012). CSM-Cutter Soil Mixing – Worldwide experiences of a young soil mixing method. *Grouting and deep mixing.* Taylor & Francis Group, London.

Li, Y., Thielemans, W., Yuan, Q., and Li, J. (2022). *PVA fiber reinforced cement composites with calcined cutter soil mixing residue as a partial cement replacement*. Construction and Building Materials, 326, 126924.

Parmantier, D. M., Stow, R. F. P., and Byrne, R. J. (2009). Case Study: Cement- Bentonite Pre-Trenching and Cutter Soil Mixing (CSM) for Temporary Shoring and Groundwater Cutoff. *Contemporary Topics in Ground Modification, Problem Soils, and Geo-Support*, ASCE, GSP 187, 153-160.

Peixoto, A., Sousa, E., and Gomes, P. (2012). *Earth Retaining Structure using Cutter Soil Mixing technology for the "Villa Paradisio" Project at Cannes, France*. ISSMGE - TC 211 International Symposium on Ground Improvement IS-GI Brussels.

Peixoto, A., Sousa, E., and Gomes, P. (2012). *Permanent Excavation Support in Urban Area using Cutter Soil Mixing technology at Cannes, France*. ISSMGE - TC 211 International Symposium on Ground Improvement IS-GI Brussels.

Peixoto, A. and Gomes, P. (2024). *Application of Cutter Soil Mixing technology in retaining walls*. XVII 24 European Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, XVIII ECSMGE.

prEN 1997-2, Eurocode 7: Geotechnical design - Part 2: Ground investigation and testing.

Progeo Proje Müh. Müş. San. Ve Tic. A.Ş. (2024). *Sivas Lojistik Merkezi ve Demiryolu Bağlantısı Uygulama Projelerinin Hazırlanması İşi Geoteknik Değerlendirme ve Tasarım Raporu*.

Rabbani, P., Tolooiyan, A., Lajevardi, S. H., Daghigh, Y., and Falah, M. (2019). *The Effect of the Depth of Cutter Soil Mixing on the Compressive Behavior of Soft Clay Treated by Alkali-Activated Slag*. KSCE Journal of Civil Engineering, 23(10), 4237-4249.

TS EN 14679 (2005). *Özel Geoteknik İşlerin Uygulanması- Derin Karıştırma*. Türk Standartları Enstitüsü, Bakanlıklar, Ankara.