

# GEOSENTETİK YAPI MALZEMESİNİN RÜZGAR ENERJİSİ SANTRALLERİ İNŞAAT İŞLERİNDE KULLANIMI HAKKINDA TESPİT VE DEĞERLENDİRMELER

Yıldırım Bayazıt<sup>1</sup>, Nejan Huvaj<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Geostatik Mühendislik ve Müşavirlik, <sup>2</sup> ODTÜ İnşaat Mühendisliği Bölümü – ODTÜ Rüzgar Enerjisi Teknolojileri Araştırma ve Uygulama Merkezi (RÜZGEM)

<sup>1</sup> info@geostatik.com.tr, <sup>2</sup> nejan@metu.edu.tr

## ÖZET

Gelişen türbin teknolojileri ve malzeme bilimi sayesinde gittikçe büyüyen türbin boyutları ve bu büyümeye bağlı olarak artan yükler, temel ve platformların tasarımında yeni yaklaşımlar ve yapı malzemelerinin kullanımına ihtiyaç doğurmuştur. Bilindiği üzere Rüzgar Enerji Santralleri (RES) yatırımlarında inşaat işleri bütçesi tüm yatırım maliyeti içerisinde küçük bir paya sahiptir. Bununla birlikte inşaat işleri yatırım iş programında kritik hatta bulunmaktadır ve enerjilendirme tarihini etkileyebilmektedir. Dolayısıyla proje geliştirme ve yatırım kararı aşamasından şaltın enerjilendirmesine kadar tüm inşaat aşamalarında süre ve maliyet optimizasyonu devam etmektedir. Bu çalışmada bu optimizasyonlarda sıklıkla başvurulmuş geosentetik yapı malzemesinin RES inşaat işleri özelinde kullanım alanları sunulmuştur.

RES türbin temellerinde geosentetikler, zemin iyileştirme, kazı ve dolgu şev stabilitesi, temel geri dolgu şev stabilitesi, temel yapısal tasarım optimizasyonu, derin temel tasarımı yardımcı yapı malzemesi başlıklarında kullanılmaktadır. Türbin montaj platformları ve yollarda, özellikle proje sahasının tarım arazisinde yer alması durumunda, kazıdan çıkan malzemenin depolanma zorluğu, kamulaştırma maliyeti, yapısal dolgu malzemesi bulma zorluğu, tarım arazilerindeki drenaj zorlukları gibi çeşitli nedenlerle geosentetiklerin kullanımı ön plana çıkabilmektedir. Ayrıca türbinlerin kurulumu için montaj sahası (montaj platformu) özelinde tanımlanan taşıma gücü gereklilikleri daha az inşaat işi ve daha kısa sürede geosentetik kullanımı ile sağlanabilmektedir. Geosentetikler şalt sahalarında ise drenaj sistemlerinin tasarımında kullanılmakla beraber, topraklama direncini artırma konusunda da çeşitli çalışma ve araştırmalar yapılmaktadır.

## 1. GİRİŞ

Geosentetikler, geoteknik, çevre geotekniği, hidrolik ve ulaştırma mühendisliği uygulamalarında kullanılmak üzere farklı sentetik polimer malzemeleri içeren özel olarak üretilmiş malzemelerdir. İnşaat sektöründe çeşitli amaçlara yönelik yaygın bir kullanım alanı bulunan geosentetiklerin en sık kullanılan çeşitleri, geotekstil, geogrid, geohücre, geokompozit, geoköpük (geofoam), geonet, geomembran olarak listelenebilir. Bunlar içinde Rüzgar Enerji Santralleri (RES) projelerinde yaygın olarak kullanılanlarını tanımlamak istersek;

- Geotekstil örgülü, örgüsüz, iplik dikişli lif veya şeritlerden üretilen veya elyaf iğneleme yöntemiyle birleştirilen, gözenekli/geçirgen, kesintisiz tabaka şeklindedir. Geotekstillere, ayırma, filtrasyon, drenaj, güçlendirme ve erozyon kontrol uygulamaları için kullanılırlar.
- Geogrid, açık ızgara (grid) görünümüne sahip geosentetik malzemedir. Geogridlerin ana kullanım alanı zeminlerin güçlendirilmesidir.
- Geokompozit, iki veya daha fazla geosentetik malzeme tipinin bir arada kullanılması ile oluşan ve birden fazla işlevi olan geosentetiklerdir.

- Geohücre (geocell) polimerik levha şeritlerinden oluşmuş nispeten kalın, üç-boyutlu bir ağ yapısındadır. Bu şeritler birbirlerine bağlı hücreler şeklinde birleştirilmişlerdir ve bu hücreler zeminle ve bazen de betonla doldurulurlar.
- Geoköpük (geofom) bloklar ya da plakalar, polistiren köpüğün genişlererek düşük yoğunluklu, kapalı, gaz dolu hücrelerden oluşmuş ağ yapısı almasıyla oluşur. Geoköpükler hafif dolgu amacıyla veya rijit duvarlar arkasındaki statik veya dinamik durumda toprak basıncını sönmölemek için, sıkışabilir, düşey bir tabaka oluşturmak için kullanılırlar [1].

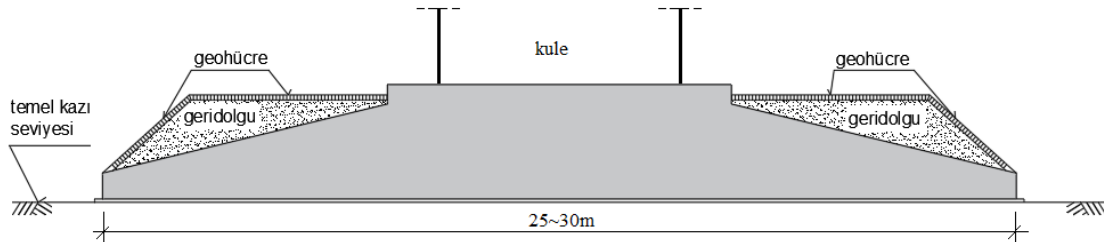
RES yatırımlarında ana inşaat kalemleri türbin temelleri, türbin montaj platformları ve yollar ile şalt sahasıdır. Bildiri kapsamında bu ana inşaat kalemlerinde geosentetiklerin kullanım alanları, kullanım amaçları ve sağladıkları fayda hakkında tespit ve değerlendirmeler yapılmıştır.

## 2. TÜRBİN TEMELLERİNDE GEOSENTETİK KULLANIMI

Geotekstiller türbin temelinin çeşitli bölgelerinde ayırma ve güçlendirme gibi amaçlara yönelik kullanılmaktadır. 2012 yılında yapılan bir çalışmada, türbin temeli altında zayıf zeminde yapılacak zemin iyileştirmeler farklı tabakalanma ve zemin mühendislik özelliklerine göre incelenmiş, sağlam zemin tabakasına mesafe 3 m ile 15 m arasında değişken olduğu durumlarda taş kolon ile zemin iyileştirmesi önerilmiştir [2]. Geosentetikler ülkemizde de kullanımı yaygın olan taş kolon zemin iyileştirmesinde ayırma ve güçlendirme amaçlı olarak kullanılmaktadır. 2009 yılında, Kuzey Ege’de, 1. derece deprem bölgesinde inşaa edilen RES türbin temelinin tasarım süreci ve yapı performansı incelenmiştir. Taşıma gücü ve oturma kriterleri açısından zayıf zemin olarak düşünülen alüvyon (kumlu siltli kil, killi kum ve kum) tabakaların bulunduğu ve sıvılaşma potansiyelinin olduğu belirlenmiştir. Zemin iyileştirmesi temel altına geotekstil takviyeli granüler dolgu tabakası ve taş kolon uygulaması olarak projelendirilmiş ve uygulanmıştır. Uzun yıllardır işletme yüklerine maruz kalan temel sisteminde, bölgede çok sayıda irili ufaklı deprem meydana gelmiş olmasına rağmen herhangi bir problem ortaya çıkmamıştır [3].

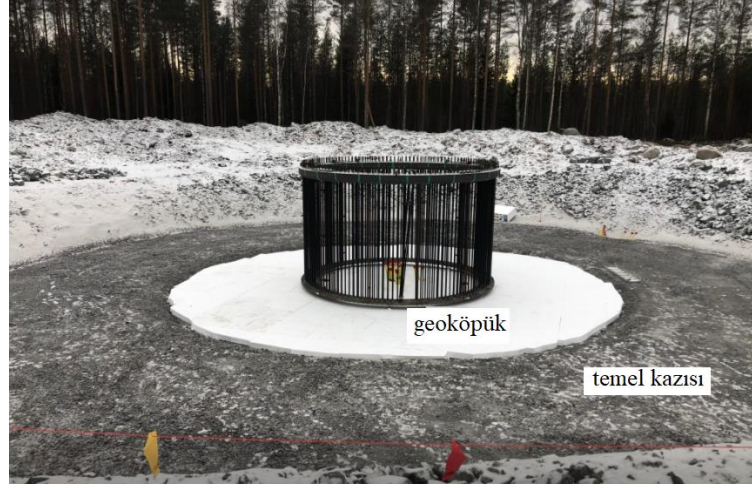
Geogridler temel tabanı altında güçlendirme ve stabilite amacı ile kullanılmakta; taşıma kapasitesini artıracak şekilde yük dağılımını değiştiren bir kilitleme etkisi yaratmaktadırlar. Konu ile ilgili bir çok araştırma bulunmakla birlikte çeşitli laboratuvar deneyleri ile de RES türbin temelleri özelinde çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalardan birinde, eksenel ve eksantrik yükleme altında dairesel temelin davranışı geogrid donatılı ve geogrid donatısız iki durum için deneysel olarak incelenmiştir. Kuru, kumlu zemin için yapılan çalışmada geogrid donatılı deney numunesinde taşıma gücü oranında önemli ölçüde iyileşme sağlandığı tespit edilmiştir [4].

Geohücre (geocell), RES türbin temellerinde, temel üzerine yapılan geri dolgunun şev stabilitesi, ve yüzeysel güçlendirme amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır. Burada temel amaç, türbin temel ampattmanı seviyesine kadar kazı yapmanın gerek olmadığı sağlam zemin/kaya şartlarında stabilite hesaplarında önemli katkısı olan geri dolgunun işletme ömrü boyunca erozyon, yağış gibi dış etkilere karşı korunmasıdır. Şekil 1’de temel geri dolgusu üzerine imal edilen geohücre uygulaması gösterilmektedir.



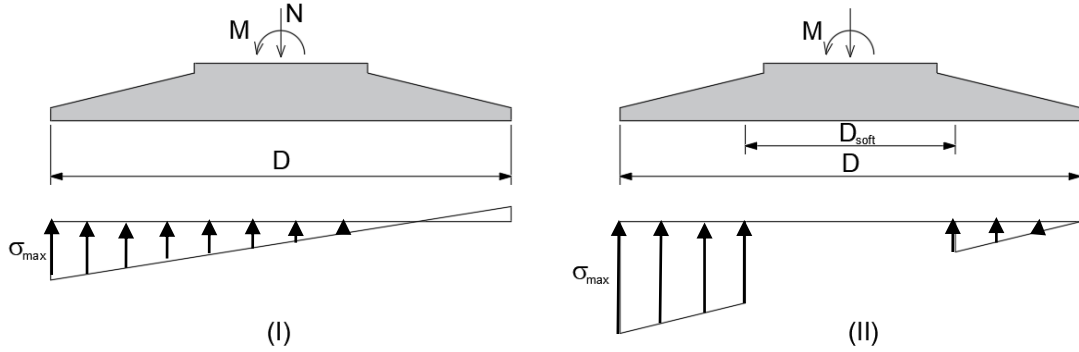
Şekil 1. Geohücre kullanılmış türbin temeli geri dolgusu

Ülkemizde de uygulanan geoköpük (geofoam) ile temel tasarımı CTE Wind firmasının Soft-SPOT isimli patentli bir temel tasarımıdır [5]. Geoköpük Şekil 2’de gösterildiği gibi temel ortasına yerleştirilmekte, temelin zemine temas eden ve yük aktaran alanını azaltmakta; temel şeklini halka (ring) şekline dönüştürmekte, gereken temel çapını küçülterek beton ve demir tasarrufu sağlamaktadır.



Şekil 2. Temel ortasına yerleştirilen geoköpükler [Url-1]

Geoköpük kullanımı Şekil 3’ten de anlaşılacağı üzere temel altındaki zemin gerilmesi dağılımını değiştirerek temel içerisinde oluşan kesit tesirlerinin dağılımını değiştirmektedir. Temel tabanında oluşan yeni zemin gerilmeleri Denklem 1 ile hesaplanmaktadır. Bu yöntem ile temel boyutları küçülmekte, temelin belli bölgelerinde gerilme artışı olmakla birlikte ortasındaki geoköpük bulunan bölgede ( $D_{soft}$ ) azalmalar meydana gelmektedir.



Şekil 3. (I) Soft-SPOT uygulaması olmayan ve (II) Soft-SPOT uygulaması olan temel tabanı gerilme dağılımı değişimi [5]

$$\sigma_{max,min} = \frac{N}{\pi(D^2 - D_{soft}^2)} \pm \frac{M}{\pi(D^4 - D_{soft}^4)} \quad (1)$$

Uygulama sonunda çelik donatıda %5’e kadar, beton miktarında ise %15’e kadar azalma elde edilebildiği belirtilmektedir [Url-1]. Azalan temel çapına bağlı olarak da toprak işlerinde azalma meydana gelmektedir. Türbin yükleri arttıkça uygulama daha avantajlı hale gelmekte olup, geleneksel inşaat metotları kullanıldığı için dünya çapında uygulanabilmektedir. Avantajlarının yanında uygulamanın bir takım dezavantajları da bulunmakta olup belli bir taşıma gücünün

olması gerekmektedir, bu taşıma gücü arttıkça uygulama daha avantajlı bir hal almaktadır. Bunun yanında basit de olsa uygulamada farklı bir iş kalemi ortaya çıkmaktadır [5].

### 3. TÜRBİN MONTAJ PLATFORMLARI VE YOLLARDA GEOSENTETİK KULLANIMI

Türkiye’de RES projelerinde en yaygın olarak geosentetik kullanılan alan türbin montaj platformları ve yollardır. Dünyada bir çok projede sıklıkla tercih edilen geogrid ve geotekstil kullanımı projelerde zaman tasarufu ve buna bağlı maliyetlerde önemli oranda azalmalar sağlamıştır. Özellikle organik (turba) zeminlerde çok yumuşak olan turbayı kazmak ve onun yerine granüler malzeme getirip, serip sıkıştırarak yol temeli oluşturmak zaman alıcı ve pahalı olmaktadır. Bu tip zeminlerde kullanılan geokompozit (geotekstil+geogrid) ile Şekil 4’te de görüleceği üzere yumuşak zemin üzerinde kazı işi yapılmadan hızlı ve ekonomik bir çözüm elde edilebilmektedir. Bu yöntem, yüzer yollar (floating roads) ve montaj platformu olarak isimlendirilmektedir.



Şekil 4. Geotekstil ve geogrid uygulaması ile yol dolgusu [Url-2]

Bu yöntem İskoçya’da Whitelee Rüzgâr çiftliğinde 322 MW kurulu gücündeki 140 türbinden oluşan projede kullanılmıştır. Sahanın yaklaşık %66’sında herhangi bir zemin iyileştirme ve derin temel tasarım yaklaşımı uygulanmadan ağırlık tipi sığ temel yapımına olanak bulunmamaktadır. Projede, bu zemin şartlarında geotekstil ve geogrid kullanımı ile haftada 1.5 km yol imalatı yapma imkanına ulaşılmıştır. Projede toplam 1.4 milyon m<sup>2</sup> geosentetik kullanılmıştır. [Url-3]

Montaj platformları ve yollarda inşaat sırasında kalıcı çözümlerin yanında geçici çözümler ve uygulamalara da ihtiyaç duyulabilmektedir. İnşaat aşamasında ve ihtiyaç durumunun süreklilik arz etmediği koşullarda geçici köprü olmak, taşıma gücü sağlamak amacıyla geomatlar önerilmektedir. Zemin olarak çok zayıf zeminde tercih edilen geomatların kullanımında ilave bir kazı dolgu imalatına da gerek bulunmamaktadır. Demonte edilebilen geomatlar ihtiyaca yönelik farklı zamanlarda inşaatın başka alanlarında da kullanılmaktadır (Şekil 5).



Şekil 5. Geomat ile geçici yol imalatı [Url-4]

Montaj platformları ve yollarda kullanılan bir diğer geosentetik ise geohücrelerdir. Başlıca kullanım amacı taşıma gücü elde etmek olan geohücreler inşaat alanında uygun dolgu malzemesi bulunmadığı durumlarda ve aşırı zayıf zeminlerde tercih edilmektedir. Zemi şartlarına ve yapılan tasarıma bağlı olarak, istenilen taşıma gücü ve oturma limitlerinin sağlanması için birkaç katman farklı geosentetik ürünlerin ve dolgu uygulamasının gerektiği durumlarda tek katman ile aynı değeri sağlayabilen geohücreler olabilmektedir. Burada yapı malzemesi optimizasyonunun yanında inşaat hızının ön plana çıkması tercih nedeni olmasını sağlamaktadır. Geohücre ile %50~85'e kadar dolgu miktarının azaltılabildiği, ve geohücre için kazıdan çıkan ya da düşük kalitede dolgu malzemesi ile doldurulabilmesi sebebiyle diğer uygulamalara göre bakım maliyetinin düşük olduğu belirtilmektedir [9]. Almanya'daki Ostercappeln Rüzgar Çiftliğinde platformlarda kurulum için gerekli taşıma gücü şartları sağlanamamış ve zemin iyileştirmesine ihtiyaç ortaya çıkmıştır. Proje sahasında gevşek kum ve yumuşak zeminlerde, yer altı su seviyesi mevsime bağlı olarak yer yüzeyi seviyesine kadar yükselebilmektedir. Türbin montaj ve kurulum aşamasında vinç zati ağırlığı ve türbin ekipmanı ile birlikte 183 tonluk bir vinç operasyonu gerçekleştirilecektir. Projelendirme aşamasında alternatif zemin iyileştirme, beton kazık ve platformu çalışılmış ve daha pahalı bulunmuştur. Aynı zamanda ileride gerekecek bakım faaliyetleri, yeniden enerjilendirme (repowering) düşünüldüğünde montaj platformunda geohücre kullanımı tercih edilmiştir [Url-5].



Şekil 6. Geohücre uygulaması ile platform inşaatı [Url-5]

#### 4. ŞALT SAHASINDA GEOSENTETİK KULLANIMI

Şalt sahaları RES inşaat işlerinde bir diğer önemli inşaat kalemidir. Şalt sahası; kontrol binası güç trafoları, kesiciler, ayırıcılar, baralar, transformatörler ve yardımcı gereçlerin bir arada bulunduğu ve tüm bunları birbirine bağlayan kablo kanallarından oluşan elektrik üretim ve iletim tesisleridir. Geosentetikler şalt sahalarında drenaj çözümlerinde kullanıldığı gibi, topraklama performansını artırmak amacıyla kullanımı ile ilgili çalışmalar da bulunmaktadır [6]. Bu amaçla topraklama performansı düşük zemin için geotekstil kullanımı ile topraklama performansının artırılması sayısal analiz programları ile test edilmiştir. Çalışmada topraklama ağı altına geotekstil serilmiş, topraklama kazıkları bu geotekstil ile temas ettirilerek topraklama performansındaki iyileşme değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda geosentetiklerin bu amaçla şalt sahasında kullanılabileceği önerilmiştir [6].

#### 5. RES SAHALARINDA GEOSENTETİKLER VE KARBON AYAK İZİ

Küresel ısınmanın başlıca nedenlerinden olan ve üretilen sera gazı miktarı açısından insan faaliyetlerinin çevreye verdiği zarar olarak tanımlanan karbon ayak izi yapı malzemeleri endüstrisinde olduğu gibi geosentetik üretiminde de her geçen gün önemli bir hal almaktadır. İmalatçı firmalar konu ile ilgili çeşitli araştırmalar yaparak, üretilen geosentetik malzemeler ile doğal kaynakların kullanımını azaltmayı amaçlamaktadırlar. Üretici firmalar çeşitli iletişim araçları ile karbon salınımı ile ilgili bilgilendirmeler yaparak, web tabanlı programları ile firmalarının ürününü kullanmanız halinde geleneksel yöntemlere kıyasla karbon salınımında ne kadar azalma olacağı yönünde optimizasyon alternatifi sunmaktadırlar.

Amerika'da geosentetik enstitüsünde yapılan bir araştırmada 800 m uzunluğunda 4 m genişliğinde zayıf zemine inşaa edilecek kaplamasız bir yol inşaatı için geosentetik takviyeli ve geosentetik takviyesiz yol alternatiflerinde karbon salınımı bakımından bir kıyas yapılmıştır. Yol altı zemininin zayıf dayanımı olduğuna işaret eden California Bearing Ratio (CBR) değeri 2.0% olan bu yolda her iki alternatif için hesaplanan karbon salınım miktarları kıyaslandığında (400 g/m<sup>2</sup> birim ağırlığı olan polipropilen geotekstil kullanılan) geosentetik alternatifli yol çözümündeki karbon salınımında yaklaşık %73 azalma hesaplanmıştır [7].

Bir başka örnekte Almanya Achen'deki District Road K34 projesinde, CBR değeri 0.5% olan zayıf bir zeminde CBR değeri 15% olan bir yol temeli oluşturmak için yaklaşık 90 cm kalınlığında kırmataş agrega malzemeye ihtiyaç duyulmuştur, burada tek katman geogrid kullanımı ile yaklaşık 63 cm'ye kadar dolgu kalınlığı azaltılmış, 8100 m<sup>3</sup> agrega kullanımından tasarruf edilmiştir. Geogrid uygulaması yerine alternatif olarak kireçle stabilizasyon yapılması durumunda enerji tüketimi ve karbon salınımının ciddi boyutlarda artacağı belirtilmiştir [Url-6].

#### 5. SONUÇ

Geosentetikler Rüzgar Enerji Santrallerinde farklı amaçlar için kullanılmaktadır. Özellikle inşaat işlerinde öngörülen ya da karşılaşılan bir çok problemde geosentetikler dünya genelinde farklı projelerde kullanılmış ve başarılı sonuçlar alınmıştır. Dünya genelinde çok sayıda firmanın çeşitli ürünleri yaygın bir tedarik zinciri oluşmasını sağlamıştır. Yerli ve yabancı bir çok ürün Türkiye'de tedarik edilebilir durumdadır. Kolay uygulaması, inşaat süresini azaltması, neredeyse her türlü hava şartında sahada tatbik edilebilmesi, fabrika üretimi olduğu için ürün kalitesinin değişken olmaması, belli bir standardın sağlanabilmesi, tedarik ve depolamasının görece daha pratik olması ve iş programındaki doğabilecek gecikmelerin önüne geçmesi RES inşaat işlerinde geosentetikleri tercih nedeni yapmaktadır.

#### KAYNAKLAR

- [1] **International Geosynthetic Society Secretaria (IGS)**, 2009. Recommended Descriptions of Geosynthetic Functions, Geosynthetic Terminology, Mathematical and Graphical Symbols, South Carolina, s. 10-12.
- [2] **Antoinet, R., Pirrion, T.**, 2012. Ground Improvement for Wind Turbine Foundations, *International Conference on Ground Improvement and Ground Control*, 2012. Editör Indraratna, B., Rujikiatkamjorn, C., Vio, J.S., University of Wollongong, Australia
- [3] **Dayioğlu, A., İncecik, M.**, 2012. Soil improvement using reinforced granular fills on earthquake zones: Three case studies, *3rd International Conference on New Developments in Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*, Lefkosa, s. 313-320
- [4] **Kharaghani, M., Badakhshan, E., Ebrahimi Far, M., Hosseinzadeh, M., Ghsemipanah, A.**, 2019. Experimental Model for Shallow Foundation of Wind Turbines on Reinforced Sand with Geogrid. *Asas Journal*, 21(54), s. 16-31
- [5] **CTE-Wind**, 2016. Structural Design International Foundation Expertise, *Subsoil Analysis, Ground Improvement and Wind Turbine Foundations Conference*, 2016. Editör Schumann, C., Essen. Haus Der Technik, Essen
- [6] **Nazih, M.**, 2019. Safety Assessment of High Voltage Substation Earthing Systems With Synthetic Geotextile Membrane. *Journal of Mechatronics, Electrical Power, and Vehicular Technology*, 10(2), s. 85-91.
- [7] **Whitty, J. E., Koerner, G. R., Koerner, J. R.**, 2020. Relative Sustainability of Road Construction/Repair: Conventional Materials versus Geosynthetic Materials, *GSI White Paper # 44*, s. 7-10

[Url-1] <<https://www.cte-wind.com/solution/soft-spot-wtg-foundation>>, erişim tarihi 12.06.2021.

[Url-2] <<https://www.geosyntheticssociety.org/case-studies-innovative-access-road-design-to-reach-glenchamber-wind-farm-scotland-on-soft-peaty-ground>>, erişim tarihi 12.06.2021.

[Url-3] <<https://terrafixgeo.com/wp-content/uploads/2021/03/COMBIGRID-WIND.pdf>>, erişim tarihi 12.06.2021.

[Url-4] <<https://www.prestogeo.com>>, erişim tarihi 12.06.2021.

[Url-5] <<https://www.tensarcorp.com>>, erişim tarihi 12.06.2021.

[Url-6] <[https://www.naue.com/wp-content/uploads/2020/08/Product\\_Folder\\_EN\\_digital\\_kl.pdf](https://www.naue.com/wp-content/uploads/2020/08/Product_Folder_EN_digital_kl.pdf)>, erişim tarihi 12.06.2021.