

## Vanadyum Redoks Akışkan Batarya Sistemlerinin Karbonsuz YEK Kökenli RES ve GES Kompleksleri Güç Depolama Üniteleri Aküleri İçinde Kullanılması

Ahmet Cangüzel Taner

Fizik Yüksek Mühendisi

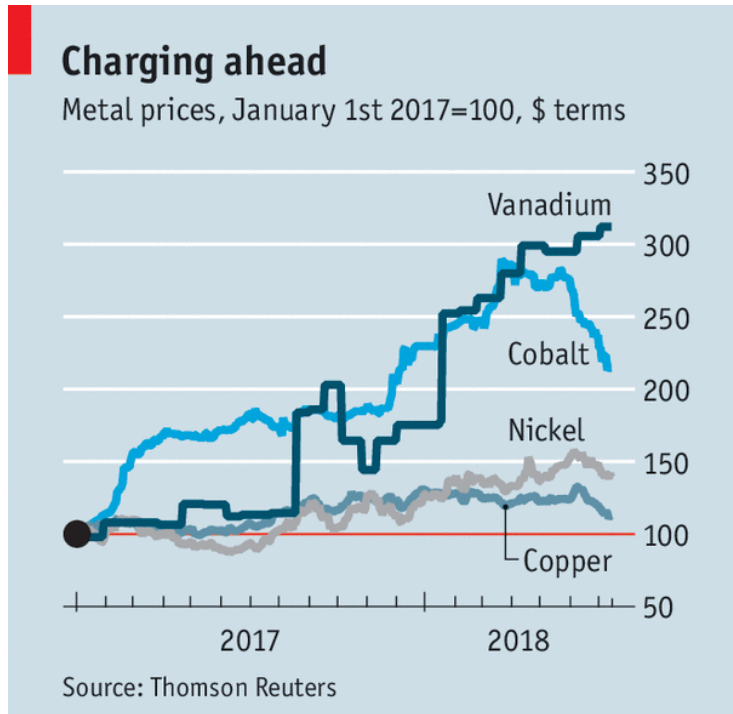
Fizik Mühendisleri Odası FMO ([canguzel.taner@gmail.com](mailto:canguzel.taner@gmail.com))

Vanadyum, V ile gösterilen 23 atom numaralı gümüş renkli, sert, sünek ve gevrek nitelikleri olan bir metaldir. İspanyol asıllı Meksikalı bilim insanı Andrés Manuel del Rio tarafından vanadyum elementi 1801 yılında keşfedilmiştir. Vanadyum metali sanayi kullanımı alanları olarak çelik üretiminde cürufun işlenmesi, uranyum madenciliği ve yüksek hız çeliği gibi yüksek alaşımlı çeliklerin imalatları sayılmaktadır. Vanadyum pentaoksit ( $V_2O_5$ ) bileşiği de endüstride sülfürik asit üretimi için bir katalizör vazifesi görmektedir. Günümüzde ise vanadyum metalinin özellikle alternatif temiz enerji kaynakları yenilikçi bataryalı elektrik depolama sistemleri kapsamında kullanılması beklenmektedir. Çağımızın en önemli araştırma - geliştirme Ar-Ge faaliyetleri, çevreci yenilenebilir enerji kaynakları YEK'e dayalı rüzgar elektrik santralleri RES ve güneş elektrik santralleri GES üniteleri güç depolama sistemleri üzerine odaklanmaktadır. Bilimsel araştırmaların yoğunlaştığı dallar olan karbonsuz inovatif elektrikli otomobiller aynı zamanda doğa dostu YEK tabanlı RES ve GES kompleksleri lityum iyon aküleri enerji depolama donanımları içeriğinde yer alan küresel kobalt, bakır ve nikel fiyatları ile global vanadyum elementi fiyatı tarifelerinin ciddi biçimde rekabet etmesi öngörülmektedir. Vanadyum metali kimyasal elementinin YEK kompleksleri bağlantılı inovasyona dayalı sabit şarj edilebilir akülü uzun ömürlü kesintisiz güç kaynağı ve enerji depolama sistemleri ekipmanları kapsamına girmesi bu yazıda ele alınmaktadır.

İskandinav ülkeleri güzellik ve bereket tanrıçası **Vanadis** olarak anılan vanadyum (vanadium) metali, günümüzde global ısınma ve küresel iklim değişikliği mekanizmaları sorunları çözümleri içeriğinde faydalanılacak materyaller arasına girmektedir. Genellikle demir çelik endüstrisinde çeliğin sertleşmesi için kullanılan vanadyum elementi; romantik vasfı dışında çok geniş inovatif temiz enerji bataryaları üretimleri kapsamında yer alacak umut vadeden can alıcı metal niteliğinde karbonsuz, doğa dostu, çevreci ve yeşil parlak bir geleceğe doğru ilerlemektedir. Küresel **vanadyum** fiyatları, karbonsuz lityum iyon bataryaları içerisindeki global **kobalt**, **nikel** ve **bakır** fiyatları tarifelerine kıyasla daha yüksek oranlarda artmaktadır. Dünya vanadyum metali fiyat tarifeleri artışlarının temel nedeni ise küresel arz talep dengesi kriterlerine dayanmaktadır. Örneğin, vanadyum elementi %90 oranında demir ve çelik ürünleri mukavemetlerinin artırılması yönünde tercih edilmektedir. Çin, depreme karşı dayanıklı binaların inşaatı çerçevesinde ulusal betonarme demirleri mukavemeti standartları yönetmelikleri ve yasal düzenlemeleri yoluyla çok sıkı tedbirler almaktadır. Brezilya yüksek saflıkta vanadyum maden ocağı işletmesi **Largo Resources** Firması Yönetim Kurulu Başkanı **Mark Smith**, sadece Çin genelinde yürütülen depreme mukavim inşaat malzeme standartları değişimi sonucu küresel vanadyum talebi artışları rakamlarının 2018 - 2019 yılları itibariyle 15000 ton olacağını hesaplamaktadır. Dünya toplam 2017 yılı vanadyum metali üretimi ise 83000 ton dolaylarında gerçekleşmiştir. Diğer taraftan, **vanadyum redoks akışkan bataryalar** (vanadium redox flow batteries - **VRBS**) içerisinde elektrik akımını ileten elektrolit çözeltiler olarak kullanılan küresel **vanadyum pentaoksit  $V_2O_5$**  bileşiği talepleri de artmaktadır. **Vanadyum redoks akışkan bataryalar** nakliye konteynerleri

(shipping containers) büyüklüğünde olup, rüzgâr ve solar elektrik üniteleri bağlantılı bir dizi lityum iyon bataryaları sistemlerine nazaran çok daha fazla enerji depolama kapasitesi ve potansiyeline sahiptir. Batarya hücresi modelinden farklı olarak tanklar içinde bulunan elektrolit sistemli şarj edilebilir nitelikli vanadyum redoks akışkan bataryalar, 20 yıl boyunca sürekli biçimde hizmet vermektedir. Söz konusu bataryaların uzun vadeli çalışması ise yeterince elektrolit kalıntı değeri sayesinde sağlanmaktadır. Bazı uzmanlar **vanadyum redoks akışkan bataryaları**, lityum iyon aküler karşısında maliyet açısından rekabet edebilir aynı zamanda daha güvenli ve yaygınlaştırılması olası enerji depolama sistemleri özelliğinde değerlendirmektedir.

Küresel inovatif piller, bataryalar ve akülerin üretimleri kapsamında kullanılan metallerin fiyatları 01 Ocak 2017 yılı = 100 dolar **kırmızı çizgi** baz alınarak aşağıdaki grafikte gösterilmektedir. **Vanadyum lacivert renkli çizgi**, **kobalt turkuaz renkli çizgi**, **nikel eflatun renkli çizgi** ve **bakır mavi renki çizgi** ile söz konusu elementlerin son yıllara ait fiyat değişimleri tabloda işaret edilmektedir.



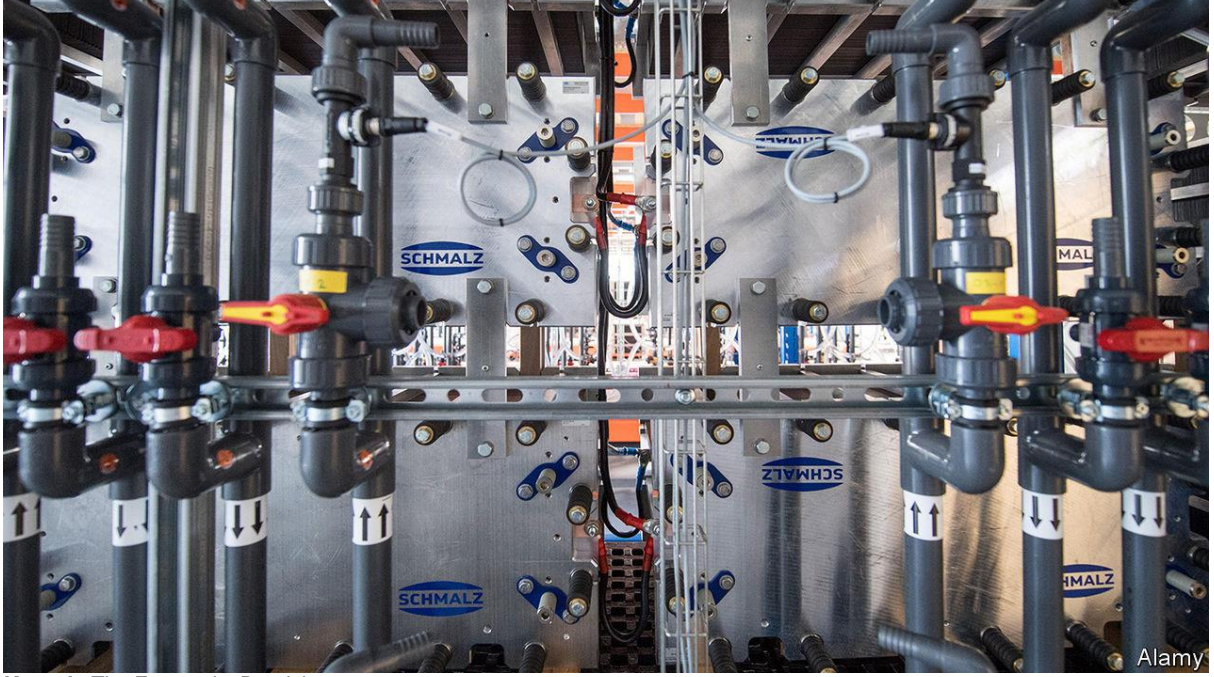
Economist.com

**Kaynak:** The Economist Dergisi

Alternatif temiz enerji kaynakları sektöründe global vanadyum arzı sadece %1 - %2 arasında temsil edilmesine rağmen sektörün muhtemel büyümesi karşısında vanadyum fiyatları sezgisel bir yaklaşıma tabi tutulmuştur. **Largo Resources** Şirketi en üst düzey yetkilisi **Mark Smith**, küresel enerji depolama marketi kapsamında **vanadyum redoks akışkan batarya VRB** sistemlerini çekici ve cazip olarak nitelendirmektedir. Akışkan bataryaların diğer bataryalara kıyasla son derece hacimli olması nedeniyle yenilikçi elektrikli otomobiller için uygulanabilir niteliği kaybolmasına karşın taşınmaz sabit güç depolama sistemleri kapsamında ise yeterli özelliği taşımaktadır. Çin devlet sektörü planlama dairesi **Ulusal Kalkınma ve Reform Komisyonu** (China's National Development and Reform Commission - **NDRC**), yenilenebilir enerji kaynakları **YEK** bazlı karbonsuz rüzgâr enerjisi santralleri **RES** üniteleri ile güneş enerjisi santralleri **GES** kompleksleri güç dengesizlikleri, voltaj

kararsızlıkları ve gerilim dalgalanmaları önlenmesi için bir dizi 100 megawatt (MW) kapasiteli yenilikçi **vanadyum redoks akışkan batarya** sistemleri yatırımları programlamaktadır. Dünyanın en güçlü aküsü kabul edilen 200 MW kapasiteli batarya sistemi yine Çin topraklarının kuzeydoğu bölgesinde kurulmaktadır. Çin 200 MW kapasiteli uzun ömürlü **vanadyum redoks batarya sistemi**, yoğun reklâmı yapılarak Aralık 2017 tarihinde Avustralya topraklarında faaliyete geçen **Tesla** lityum iyon bataryalı enerji depolama ünitesi kapasitesine nazaran iki kat daha büyüktür.

**Vanadyum redoks akışkan batarya** ünitesi bir görüntüsü aşağıdaki verilmektedir.



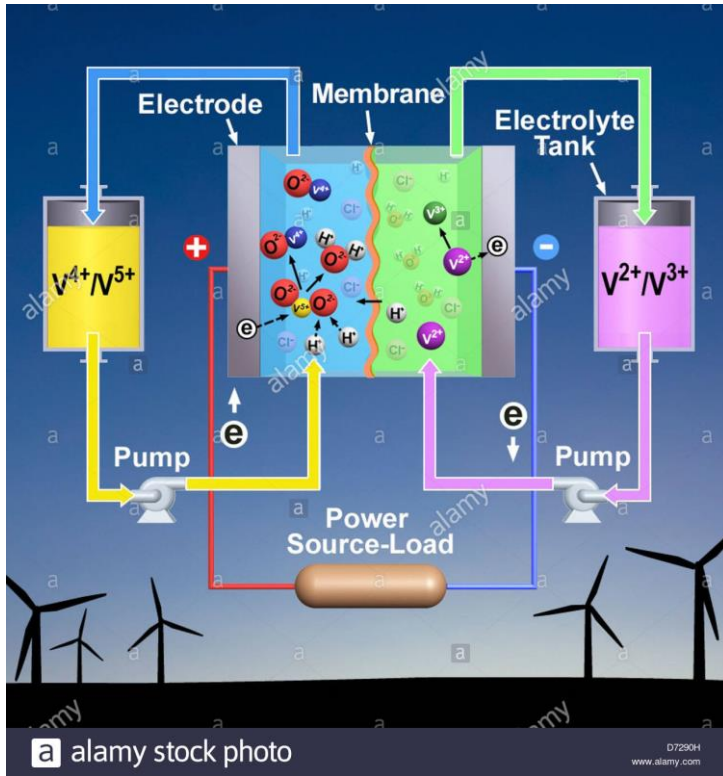
**Kaynak:** The Economist Dergisi

Öte yandan, global vanadyum fiyatları yükselişleri ise gelişme süreci yaşayan **vanadyum redoks akışkan aküler** yaygınlaşması açısından dezavantaj oluşturmaktadır. Ancak, dünyada vanadyum metali yatakları bol ve zengin miktarlarda bulunmaktadır. Küresel vanadyum elementi rezervleri ve kaynakları toplam yaklaşık 63 milyon ton seviyelerine kadar ulaşmaktadır. Çoğunluğu bilhassa Çin genelinde çelik üretimi kapsamında demir kullanımı kaynaklı yan ürün olarak ortaya çıkmaktadır. Ayrıca, Güney Afrika ve Brezilya vanadyum maden ocakları işletmeleri de faaliyetlerini sürdürmektedir. Güney Afrika vanadyum maden ocağı işletmesi **Bushveld Minerals** Firması patronu **Fortune Mojapelo** tarafından vanadyum metali üretim sektörü alanındaki temel sorunun proses kapasitesi yetersizliği ve sıkıntıları kaynaklı olduğu vurgulanmaktadır. **Bushveld Minerals** Şirketi, **vanadyum redoks akışkan akümülatörler** içerisinde kullanılacak olan **vanadyum pentaoksit V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>** kimyasal bileşikler üretilmesi yönünde planlar yürütmektedir. **Bushveld Minerals** Firması yetkilileri Afrika ülkelerinin yakın gelecekte tamamen **vanadyum redoks akışkan bataryalar** ile donatılacağını beklemektedir. Diğer taraftan, Kanada **vanadyum akışkan akü** imalatçısı **VRB Energy** Şirketi, hammaddeden batarya üretimi safhasına kadar **dikey entegrasyon** ya da **dikey bütünleşme (vertical integration)** olarak adlandırılan değişik ürünler üreten ancak aynı piyasadan alıcı bulan şirketlerin birleşmesi ilkesi doğrultusunda çalışmalar yapmaktadır. Aynı zamanda üretici ve dağıtıcı işletme olma stratejisi



şeklinde yorumlanan **dikey bütünleşme** prensibi çerçevesinde **VRB Energy** Firması, Çin elektrolit tedarikçileri **Pangang Group Vanadium** ve **Titanium Resources** şirketleri ile uzun vadeli anlaşmalar imzalamaktadır. Bu bağlamda Çinli **Pangang Group Vanadium** Firması ve **Titanium Resources** Şirketi tarafından **vanadyum akışkan batarya** üreticisi **VRB Energy** işletmesine ait hisse senetlerinin satın alınması da öngörülmektedir. Ayrıca küresel akışkan akü sistemleri projeleri, global gözde ve rağbet gören güç depolayan batarya imalatçısı Amerikan **Tesla** Firması kurucusu **Elon Musk** gibi önemli müteşebbislerin yatırımlarından yoksun bir biçimde ilerlemeye çalışmaktadır. Ancak, dünyada en az iki nüfuzlu girişimci sayesinde vanadyum akışkan akümülatörler yatırımları global ekonomik destekler ve finansal kaynaklar bulmaktadır. Örneğin, Güney Afrika maden ocakları işleticisi ve dünyanın en büyük emtia ticaretini yürüten **Glencore**, finansman yardımları sağlamaktadır. Bir diğer önemli mali ve finansal destek ise **VRB Energy** Şirketi yatırımlarını kontrol altında tutan müteşebbis **Robert Friedland** girişimlerinden gelmektedir. Sonuçta, aynı zamanda küresel kobalt metali üretimleri de gerçekleştiren iki önder girişimci sayesinde doğa dostu uzun ömürlü şarj edilebilir **vanadyum redoks akışkan batarya** sistemlerinin parlak bir geleceğe doğru ilerlemesi olası görülmektedir.

Yenilenebilir enerji kaynakları **YEK** kökenli rüzgar enerjisi santralleri **RES** üniteleri bağlantılı güç depolama sistemleri için tasarlanan uzun ömürlü **vanadyum redoks akışkan bataryası** işleme ve çalışma yöntemi aşağıdaki şemada resmedilmektedir.



**Kaynak:** Alamy

### **Kaynaklar:**

- Yeni Kuşak Radyasyon Teknolojileri Uygulamaları ve Kobalt-60 (Co-60) Gama Işınlama Tesisleri, Ahmet Cangüzel Taner, **FMO** Yayınları, Faydalı Bilgiler, 2010.
- Çevre Dostu Yenilenebilir Enerji Kaynakları Finansmanı, İklim Tahvilleri veya İklim Değişikliği Bonoları, Ahmet Cangüzel Taner, **FMO** Yayınları, Faydalı Bilgiler, 2011.

- Eser ve Nadir Toprak Elementleri, **Rüzgâr Elektrik Santralleri (RES)**, Elektrikli Otomobiller, Küresel Isınma ve Küresel İklim Değişikliği, Ahmet Cangüzel Taner, **Fizik Mühendisleri Odası FMO** Yayınları, Faydalı Bilgiler, 2012.
- Küresel Karayolu Ulaşım Araçları Global Karbondioksit Emisyonları Düşürülmesi ve Yeni Nesil Düşük Karbon Emisyonlu Evrimsel Otomobiller, Ahmet Cangüzel Taner, **Fizik Mühendisleri Odası** Yayınları, Faydalı Bilgiler, 2013.
- Almanya Yeşil Enerji Devrimi **Energiewende** Enerji Dönüşümü Süreci İçinde Elektrik Şebekesi Sistem Kararsızlıkları ve Gerilim (Voltaj) Dengesizlikleri, Ahmet Cangüzel Taner, **Fizik Mühendisleri Odası FMO** Yayınları, Faydalı Bilgiler, 2013.
- Küresel Evrimsel Otomobil Üretimleri İçin Yenilikçi Lityum İyon Aküleri Yapımı Kapsamında Çağdaş Turboşarj Teknolojileri Geliştirilmesi Bilimsel Çalışmaları, Ahmet Cangüzel Taner, **FMO** Yayınları, Faydalı Bilgiler, 2015.
- Yeni Kuşak Elektrikli Otomobil Motorları İçerisinde Makro Aküler Yerine Küçük Boyutlu Mikro Lityum İyon Bataryaları **Araştırma Geliştirme Ar-Ge** Faaliyetleri, Ahmet Cangüzel Taner, **FMO** Yayınları, Faydalı Bilgiler, 2015.
- ABD** Kara Nakil Vasıtaları Emisyonları Çevre Kirliliği, Elektrikli Otomobiller ve Hafif Taşıt Araçları Yakıt Türleri Salımları Kaynaklı İnsan Ölümleri Mukayesesi, Ahmet Cangüzel Taner, **FMO** Yayınları, Faydalı Bilgiler, 2015.
- Kyoto Protokolü Sonrası Olası **BM** 2015 Paris İklim Değişikliği Anlaşması Dünya Karbondioksit Emisyonları Artışları ve Yok Edilmesi Teknolojileri, Ahmet Cangüzel Taner, **Fizik Mühendisleri Odası** Yayınları, Faydalı Bilgiler, 2015.
- Küresel Fosil Yakıtlar Petrol, Doğalgaz, Kömür Tüketimlerinin Önlenmesi, Durdurulması ve Tasfiyesi Hakkında Batı Kamuoylarında Gelişen Eylemler, Ahmet Cangüzel Taner, **Fizik Mühendisleri Odası FMO** Yayınları, Faydalı Bilgiler, 2015.
- Çin Elektrik Üretim Portföyü İçinde Doğa Dostu ve Çevreci Yenilenebilir Enerji Kaynakları **YEK** Menşeli Rüzgâr Türbinleri Güç Üretimleri Problemleri Çözümü, Ahmet Cangüzel Taner, **Fizik Mühendisleri Odası** Yayınları, Faydalı Bilgiler, 2015.
- Hindistan Sera Gazı Emisyonları Artışları Karşısında Doğa Dostu, Çevreci ve Yeşil Temiz Enerji Kaynakları **YEK** Projeleri Yatırım Programları Uygulamaları, Ahmet Cangüzel Taner, **Fizik Mühendisleri Odası FMO** Yayınları, Faydalı Bilgiler, 2016.
- Temiz Enerji Kaynakları Kökenli Sistemler İçinde Kullanılan İnovatif Lityum İyon Aküler Üretimleri ve Küresel Beyaz Altın Lityum Arz Güvenliği, Ahmet Cangüzel Taner, **FMO** Yayınları, Faydalı Bilgiler, 2016.
- Yeni Nesil Akıllı Telefonlar, Dizüstü Bilgisayarlar, Robotlar, İnsansız Hava Araçları **İHA**, Uydular, Otomobiller ve Güç Santrallerinde Kullanılan Yeniden Şarj Edilebilir İnovatif Lityum İyon Bataryalar Geliştirilmesi Çalışmaları, Ahmet Cangüzel Taner, **Fizik Mühendisleri Odası** Yayınları, Faydalı Bilgiler, 2016.
- İnovatif Lityum Hava Bataryaları Geliştirilmesi ile Daha Fazla Yol Alan Uzun Menzilli Yeni Nesil Elektrikli Otomobiller **Ar-Ge** Çalışmaları Perspektifleri, Ahmet Cangüzel Taner, **Fizik Mühendisleri Odası** Yayınları, Faydalı Bilgiler, 2016.
- YEK** Kökenli **GES** ve **RES** Kompleksleri Enerji Depolama (**Store Electrical Energy**) Sistemleri İçin Efsanevi Kral **Sisifos (Sisyphus)** Tren Düzeneği, Ahmet Cangüzel Taner, **Fizik Mühendisleri Odası FMO** Yayınları, Faydalı Bilgiler, 2016.
- Gezegeenin Geleceği Açısından Hemen Gündeme Alınması Gereken Sorunlar Arasında Sayılan Küresel Isınma ve Global İklimsel Değişim Mekanizmaları, Ahmet Cangüzel Taner, **Fizik Mühendisleri Odası FMO** Yayınları, Faydalı Bilgiler, 2016.
- Global Karbonsuz Güç Depolama Tesisleri Sayesinde Dünya Doğa Dostu Yeni Kuşak Akümülatör Endüstrisi Gelişimi ve Yaygınlaşması Periyodu, Ahmet Cangüzel Taner, **Fizik Mühendisleri Odası FMO** Yayınları, Faydalı Bilgiler, 2017.
- Güney Avustralya Doğal Afetler Nedeni ile Oluşan Elektrik Kesintileri Sonucu

- Çevreci İnovatif Batarya Güçlü Enerji Depolama Sistemi Projesi Yatırımları, Ahmet Cangüzel Taner, **Fizik Mühendisleri Odası FMO Yayınları**, Faydalı Bilgiler, 2017.
- Amerika Birleşik Devletleri Karbonsuz Yerli Yeni Nesil Elektrikli Otomobil ve İnovatif Kara Taşıt Araçları Yurtiçi Üretimleri Yatırım Teşvikleri Çalışmaları, Ahmet Cangüzel Taner, **Fizik Mühendisleri Odası FMO Yayınları**, Faydalı Bilgiler, 2017.
- Karbonsuz Doğa Dostu Yeni Nesil Elektrikli Kara Ulaşım Araçları Kullanımı Geçiş Süreci Kapsamında Küresel Çevreci Otomobil Üreticileri Sıkıntıları, Ahmet Cangüzel Taner, **Fizik Mühendisleri Odası FMO Yayınları**, Faydalı Bilgiler, 2017.
- Norveç Karayolları Konvansiyonel İçten Yanmalı Motorlar (**ICE**) ile Çalışan Arabalar ve İnovatif Yeşil Elektrikli Otomobiller (**EVS**) Dönüşüm Süreci, Ahmet Cangüzel Taner, **Fizik Mühendisleri Odası FMO Yayınları**, Faydalı Bilgiler, 2017.
- Yeni Nesil Elektrikli Otomobiller ve Aküler Üretimleri İçinde Kullanılan Global Bakır, Kobalt, Nikel, Grafit, Lityum Metaller ve Mineraller Maden Ocakları, Ahmet Cangüzel Taner, **Fizik Mühendisleri Odası FMO Yayınları**, Faydalı Bilgiler, 2017.
- Japon **Nissan**, Alman **BMW**, Amerikan **Tesla** ve **General Motors GM** Firmaları Çevre Dostu ve Yeşil Yeni Kuşak Elektrikli Otomobil Üretimleri Rekabeti, Ahmet Cangüzel Taner, **Fizik Mühendisleri Odası FMO Yayınları**, Faydalı Bilgiler, 2017.
- Dizelli Binek Araçlar Karbondioksit Emisyonları Düşürülmesi ve Uzun Menzilli Şarj Edilebilir Akülü Karbonsuz İnovatif Otomobiller Süreci, Ahmet Cangüzel Taner, **Fizik Mühendisleri Odası FMO Yayınları**, Faydalı Bilgiler, 2017.
- Global Yenilenebilir Enerji Kaynakları **YEK** Menşeli **RES** ve **GES** Kompleksleri İçin Yüksek Gerilim Doğru Akım - **HVDC** Transmisyon Hatları Geliştirilmesi, Ahmet Cangüzel Taner, **Fizik Mühendisleri Odası FMO Yayınları**, Faydalı Bilgiler, 2017.
- Çin Uzun Mesafe Ultra Yüksek Voltaj Doğru Akım (**Ultra High-Voltage Direct - Current - UHVDC**) Konnektörleri ve Küresel Süper Şebeke Ağları Yatırımları, Ahmet Cangüzel Taner, **Fizik Mühendisleri Odası FMO Yayınları**, Faydalı Bilgiler, 2017.
- Güneş Panelleri, Enerji Tasarruflu **LED (Light-Emitting Diodes)** Aydınlatma Sistemleri Fiyatları Düşüşleri ve Dünyanın Yoksul Bölgelerinde Kullanımı, Ahmet Cangüzel Taner, **Fizik Mühendisleri Odası FMO Yayınları**, Faydalı Bilgiler, 2017.
- Karbonsuz Yenilenebilir Enerji Kaynakları **YEK** Elektrik Üretimi Sistemlerinin Küresel Isınma ve İklim Değişiklikleri Sorunları Karşısındaki Yetersizliği, Ahmet Cangüzel Taner, **Fizik Mühendisleri Odası FMO Yayınları**, Faydalı Bilgiler, 2017.
- Yüzde Yüz Doğa Dostu Karbonsuz Yenilenebilir Güç Kaynakları Elektrik Üretimi Tesisleri Sürdürülebilirliği ve Global Fosil Yakıtlar Enerji Piyasası Hakimiyeti, Ahmet Cangüzel Taner, **Fizik Mühendisleri Odası FMO Yayınları**, Faydalı Bilgiler, 2017.
- Büyük Britanya Yeni Kuşak Pil, Batarya ve Akümülatör Geliştirilmesi Periyodu Çerçevesinde Uzay Araçları ile Lityum Maden Araştırmaları Programı, Ahmet Cangüzel Taner, **Fizik Mühendisleri Odası FMO Yayınları**, Faydalı Bilgiler, 2018.
- Enerji Piyasası Tekelleşmesi Önlenmesi, Küresel Fosil Yakıtlar ve Nükleer Güç ile **YEK** Menşeli **RES, GES, HES, JES** ve Biyokütle Elektrik Üretim Çeşitliliği, Ahmet Cangüzel Taner, **FMO Yayınları**, Faydalı Bilgiler, 2018.
- Çin Küresel Eser ve Nadir Toprak Metalleri Marketi Hakimiyeti ile Global Evrimsel Elektrikli Otomobiller Kobalt ve Nikel İhtiyaçları Karşılanması, Ahmet Cangüzel Taner, **Fizik Mühendisleri Odası FMO Yayınları**, Faydalı Bilgiler, 2018.
- Global Kalkınmakta Olan Yoksul Ülkeler Elektrik Kullanımı Yaygınlaştırılması Çerçevesinde Mini Şebeke Sistemleri Elektrifikasyon Projeleri Yatırımları, Ahmet Cangüzel Taner, **Fizik Mühendisleri Odası FMO Yayınları**, Faydalı Bilgiler, 2018.
- The Economist Dergisi**, (21 Temmuz 2018 - 27 Temmuz 2018).

Fizik Mühendisleri Odası **FMO** Resmi İnternet Sitesi:

[www.fmo.org.tr/\\_yayinlar/faydali-bilgiler](http://www.fmo.org.tr/_yayinlar/faydali-bilgiler)