

AYNI GÜÇ ÜRETİMİ İÇİN TERMAL VE RÜZGÂR BARALARININ YAKIT MALİYETİ VE EMİSYON AÇISINDAN KARŞILAŞTIRILMASI

Öğr. Gör. Mehmet GÜÇYETMEZ

Doç. Dr. Ertuğrul ÇAM

MEVCUT POTANSİYEL

Tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de rüzgar enerjisi hızla gelişmekte olan bir enerji türüdür. Özellikle rüzgâr potansiyelinin yüksek olduğu bölgelerde rüzgârdan üretilen elektriğin birim maliyetinin düşük olması nedeniyle yeni rüzgâr türbinleri kurulmaya başlanmıştır [1]. Türkiye'nin 5000 MW'a yaklaşan rüzgar kurulu gücü göz önüne alındığında hedef 20000 MW kurulu rüzgar gücü enerji üretiminde önem kazanmaktadır.

YAKIT MALİYETİ VE EMİSYON HESABI

- Elektrik enerjisinin yakıt maliyetinin hesaplanmasında ve bu maliyet temel alınarak sera gazı emisyonu hesaplamalarında optimizasyon algoritmaları kullanılmaktadır. Bu hesaplamalar sonucunda güç sistemindeki yenilenebilir enerji kaynaklarının etkileri frekans vb. tespit edilmektedir [2].

YAKIT MALİYETİ VE EMİSYON HESABI

- Geleneksel bir güç sistemi için yakıt maliyeti

$$F_{cost} = \sum_{i=1}^{n_g} (\alpha_i + \beta_i P_{g_i} + \gamma_i P_{g_i}^2) (\$/sa) \quad (1)$$

şeklinde hesaplanmaktadır. Burada α , β ve γ termal generatörler için yakıt maliyet katsayıları ve , P_{g_i} i. generator için aktif güç ve n_g sistemdeki generatörlerin sayısıdır.

RÜZGAR ENERJİSİ İLE OPTİMUM YAKIT MALİYETİ VE EMİSYON HESABI

Rüzgar türbinlerin sürekli ortalama güç ile çalıştıkları kabul edilerek güç sistemine rüzgâr türbinlerinin eklenmesi ile yakıt maliyeti

$$F_{cost} = \sum_{i=1}^{n_g} (\alpha_i + \beta_i P_{g_i} + \gamma_i P_{g_i}^2) + \sum_{j=1}^{n_w} (d_j w_j) \text{ (\$/sa)} \quad (2)$$

olmaktadır [3]. Burada d_j j. rüzgar generatörü için doğrudan maliyet katsayısı ve w_j j. rüzgar generatöründen elde edilen planlanan rüzgar gücü ve n_w sistemdeki rüzgar generatörlerinin sayısıdır. d değeri rüzgar turbininin kazanç katsayısıdır ve genellikle 1 olarak alınmaktadır. Burada amaç kullanılan optimizasyon tekniği ile P_{g_i} ve w_j değerlerinin optimum sonuçları bulunarak en iyi yakıt maliyeti ve emisyon değerlerini tespit etmektir.

TLBO ALGORİTMASI

- Güç akış analizinde çok sayıda optimizasyon algoritmaları kullanılmaktadır [9, 10, 11, 12]. Bu algoritmalarından birisi de TLBO algoritmasıdır. TLBO algoritması bir sınıftaki öğrenciler ve öğretmen arasındaki etkileşime dayanan bir sosyal tabanlı optimizasyon algoritmasıdır [13]. Öğrencilerin öğrenme kabiliyeti öğretmenin kapasitesi ile yakından ilişkilidir. Algoritmanın her safhasında başarılı öğrenciler seçilerek en iyi öğrencilerin tespiti yapılır.
- TLBO algoritması sınıftaki öğrencilerin sayısı, sınıfların sayısı ve iterasyon sayısı olmak üzere üç temel parametreye sahiptir. Algoritma, öğretmen ve öğrenci safhası olmak üzere iki aşamadan oluşmaktadır.
- Öğretmen safhasında öğrenciler öğretmenlerinden bilgiyi taklit etmek suretiyle öğrenmektedirler. Öğretmen, öğrencilere bilgiyi vermekte ve sınıfının ortalama bilgi düzeyini artırmaya çalışmaktadır. Öğretmen sınıftaki en deneyimli ve en bilgili insandır dolayısıyla öğrenciler en fazla öğretmen kadar öğrenebilmektedirler.

TLBO ALGORİTMASI

Öğretmen ve öğrencilerin öğrenme kapasitesi arasında ortalama fark olarak adlandırılan ve (3) ile tanımlanan bir fark bulunmaktadır,

$$Difference_Mean_{j,i} = r_i(X_{j,kbest,i} - T_f M_{j,i}) \quad (3)$$

Burada r_i , 0 ve 1 arasında bir rastgele sayı, $X_{j,kbest,i}$, öğretmenin sonucu (en iyi sonuç) ve T_f , 1 ile 2 arasında alınan öğretim faktörüdür.

TLBO ALGORİTMASI

T_f , (4)'deki gibi tanımlanmaktadır.

$$T_f = \text{round} [1 + \text{rand}(0,1)\{1,2\}] \quad (4)$$

Eğer ortalama fark halihazırdaki sonuçtan daha iyi ise, (3), (5)'deki gibi düzenlenir,

$$X_{j,k,i}' = X_{j,k,i} + \text{Difference_Mean}_{j,k,i} \quad (5)$$

Burada $X_{j,k,i}'$ kabul edilen en iyi sonuçtur.

TLBO ALGORİTMASI

- Öğretmen safhasından sonra, tüm en iyi fonksiyon sonuçları öğrenci safhasında kullanılmak üzere kaydedilir.
- Öğrenci safhasında, öğrenciler bilgiyi birbirleri ile tartışarak ve etkileşime girerek öğrenirler. Eğer bir öğrenci daha bilgili ise diğeri kendisini etkileşim ile günceller.
- P ve Q rasgele öğrenciler olmak üzere $X_{total-P,i}'$ ve $X_{total-Q,i}'$

$$X_{total-P,i}' \neq X_{total-Q,i}' \quad (6)$$

- Burada $X_{total-P,i}'$ ve $X_{total-Q,i}'$, $X_{total-P,i}$ ve $X_{total-Q,i}$ 'nin güncellenmiş sonraki değerleridir.

TLBO ALGORİTMASI

Eğer $X_{total-P,i}' > X_{total-Q,i}$ ise, $X_{j,p,i}''$ (7)'deki gibi elde edilir.

$$X_{j,p,i}'' = X_{j,p,i}' + r_i(X_{j,P,i}' - X_{j,Q,i}') \quad (7)$$

ve eğer $X_{total-Q,i}' > X_{total-P,i}$ ise $X_{j,p,i}''$ (8)'deki gibi hesaplanır.

$$X_{j,p,i}'' = X_{j,p,i}' + r_i(X_{j,Q,i}' - X_{j,P,i}') \quad (8)$$

en iyi fonksiyon değeri olarak hesaplanmaktadır.

8 BARALI TERMAL GÜÇ SİSTEMİ[4]

Gen Nu.	Güç Santrali	Yakıt Tipi	α	β	γ	Üretilen Minimum Güç	Üretilen Maksimum Güç
1	Hamitabat	D. Gas	6595.5	7.0663	0.0168	190	1120
2	Ambarlı	Fuel Oil	7290.6	7.2592	0.1270	245	1350
3	Dgaz	D. Gas	6780.5	5.6820	0.0106	318	1432
4	Seyitömer	Kömür	1564.4	3.1288	0.0139	150	600
5	SomaB	Kömür	5134.1	6.2232	0.0168	210	990
6	Yeniköy	Kömür	1159.5	3.3128	0.0210	110	420
7	Kemerköy	Kömür	1697.0	3.2324	0.0137	140	630
8	Yatağan	Kömür	1822.8	3.4720	0.0147	140	630

TERMAL/RÜZGAR YAKIT MALİYETİ HESABI

- Çizelge 1'de 8 baralı termal bir güç sistemi verisi verilmiştir [4]. Geleneksel güç sisteminde buhar türbinli termal sistemlerin maliyet hesaplamasında kullanılan katsayılarından katsayısı klasik olarak 1000 ve katları gibi oldukça yüksek olmasına karşın rüzgâr güç sisteminde bu değer 1 olarak alınmaktadır. Bu ise rüzgâr enerjisinin işletme maliyetinin neden daha az olduğunu açıklamaktadır. Ayrıca rüzgar türbini kurulacak bölgenin kapasite faktörü ve türbin ömürleri de emisyon ve emisyon maliyetini etkilemektedir [5, 6, 7, 8].

TLBO ALGORİTMASININ AVANTAJLARI

- Kök ara değerlerini etkin şekilde bulabilmesi böylece kısa sürede optimum değerlere ulaşması
- Bulanık mantık, genetik algoritma gibi diğer optimizasyon algoritmalarına göre anlaşılabilirlik ve işlem basitliğine sahip olması
- Geleneksel algoritmalara (Gauss, Newton vb.) yöntemlere göre yakınsama probleminin olmaması

RÜZGAR ENERJİSİNİN YAKIT MALİYETİ AÇISINDAN AVANTAJLARI

- Geleneksel bir güç sistemi yerine rüzgâr enerjili bir güç sistemi kullanmanın birçok avantajları olduğu görülmektedir. Bu avantajların belli başlıcaları şunlardır:

RÜZGAR ENERJİSİNİN YAKIT MALİYETİ AÇISINDAN AVANTAJLARI

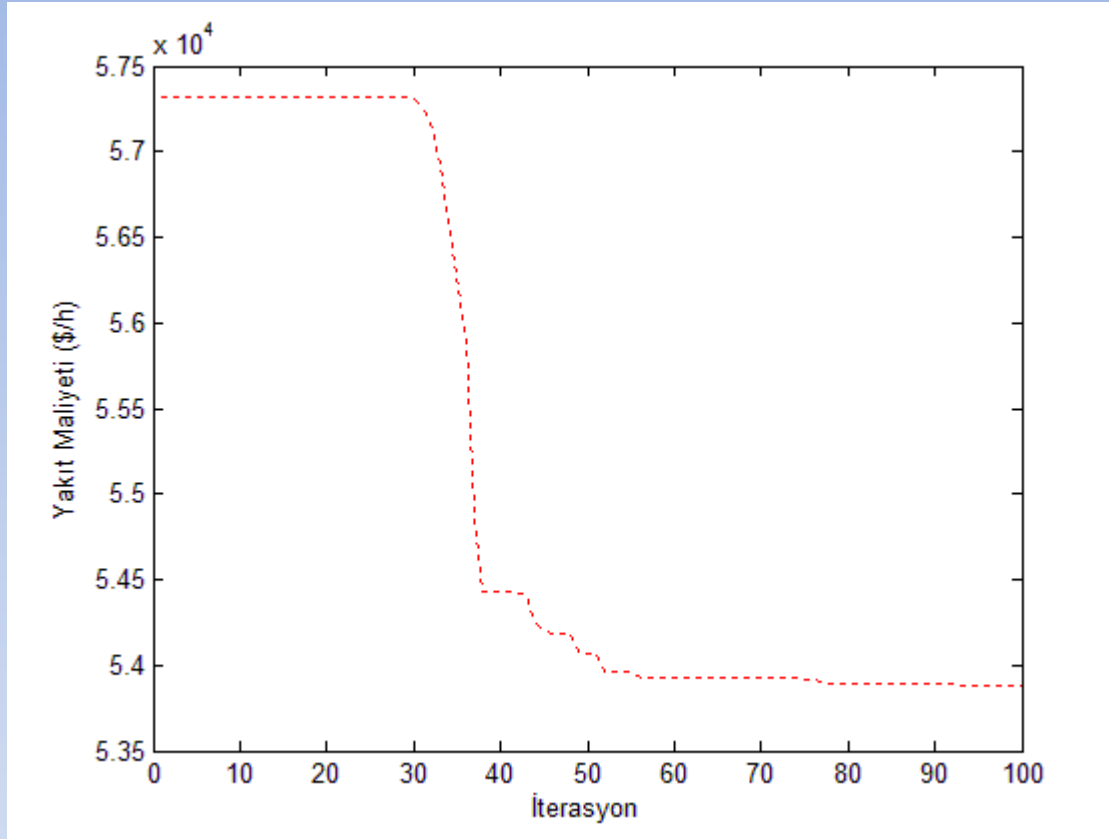
- Yakıt maliyet hesabı daha basittir. 3 farklı yakıt katsayısı yerine tek kazanç katsayısı ile işlem yapılmaktadır.
- Optimum güç değeri hesaplama süresi daha azdır.
- Daha az adımlı ve küçük bir optimizasyon algoritması ile hesaplama yapılmaktadır.
- Şebekedeki geleneksel güç sistemi yükünü azaltmasından dolayı şebeke frekansını düzenleyici yönde etkisi vardır.

TERMAL ENTERKONNEKTE SİSTEME GÜÇ AKIŞ ANALİZİ UYGULAMASI

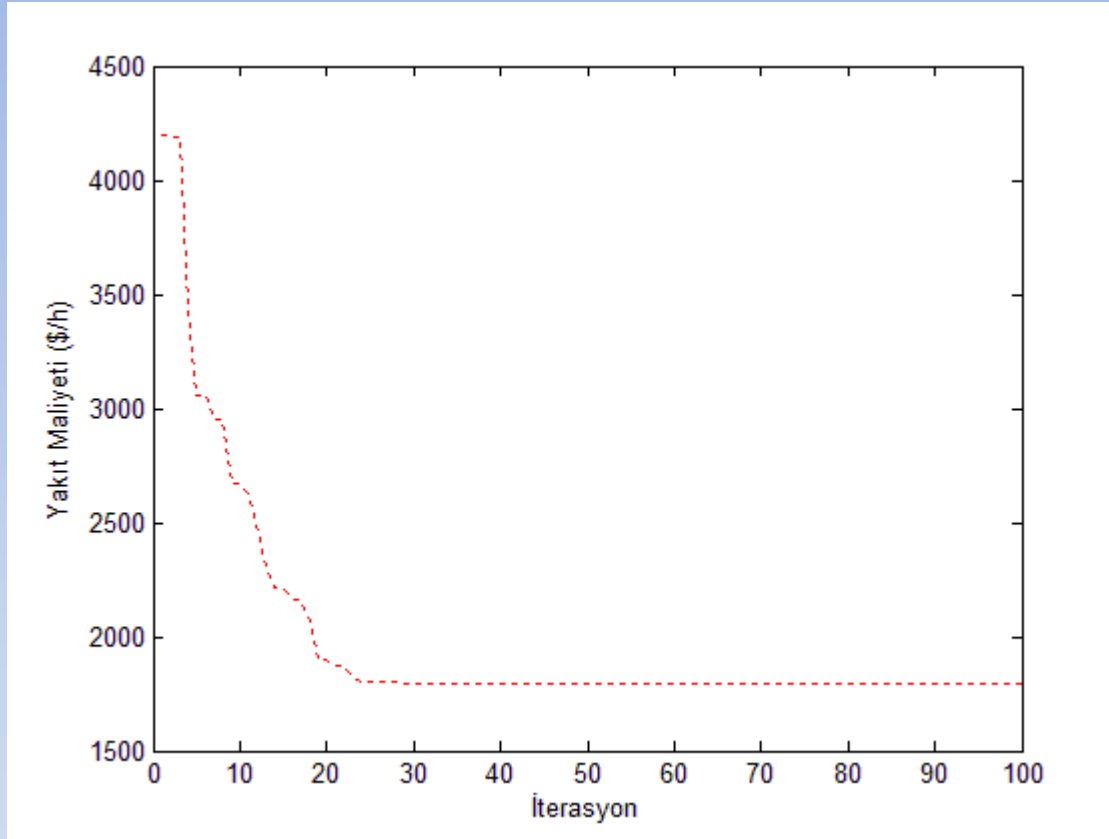
- Öncelikle TLBO algoritması ile 8 baradan oluşan toplam olarak 7172 MW kurulu güce sahip bir termal güç sisteminin yakıt maliyeti çıkartılmıştır. Aynı sistem, ana bara sayısının aynı olduğu rüzgâr çiftlikleri olduğu kabulü ile 2 MW'lık rüzgâr türbinleri göz önüne alınarak yeniden analiz edilmiştir. Bunun sonucunda termal ve rüzgâr baralarından oluşan sistemler için yakıt maliyeti grafikleri Şekil 1 ve Şekil 2'de verilmiştir. Ayrıca 7172 MWh güç değeri için emisyon miktarı hesaplanmıştır. Sonuçlar Çizelge 2 ve Çizelge 3'de özetlenmiştir.

Emisyon Deęerleri

- Çizelge 2'de emisyon hesabında CO_2 emisyon değerleri ortalama olarak alınmıştır. Bu değerler;
- Kömür için 820 g/KWh,
- Doğalgaz için (kombine) 490 g/KWh,
- Rüzgâr için 11 g/KWh' dir [15, 16].
- Toplam 7172 MWh için hesaplama yapılmış olup bu gücün 3902 MWh'i doğalgaz, 3270 MWh'i kömür kaynaklı olarak hesaba dâhil edilmiştir. Bu maliyetler enerji üretim maliyetleri olup inşaat gibi maliyetler hesaplamaya dâhil edilmemiştir.



Şekil 1. 8 Baralı termal kaynaklarla elde edilen yakıt maliyeti eğrisi



Şekil 2. 8 bara termal kaynaklara eşdeğere rüzgâr enerjisi ile elde edilen yakıt maliyeti eğrisi

Termal ve rüzgâr enerji sistemlerinin yakıt maliyeti açısından karşılaştırılması

Enerji Sistemi (7172 MW)	En İyi Yakıt Maliyeti (\$/sa)
Termal Enerji Sistemi	53882,97
Rüzgâr Enerji Sistemi	1793,02
Yakıt Maliyetindeki Tasarruf	52089,95

Termal ve rüzgâr enerji sistemlerinin emisyon açısından karşılaştırılması

Enerji Sistemi (7172 MW)	Emisyon Miktarı (ton)
Termal Enerji Sistemi (Kömür ve Doğalgaz)	4801.94
Rüzgâr Enerji Sistemi	78,9
Emisyon Miktarındaki Azalma	4723.04

SONUÇ

Bu çalışmada aynı kurulu güç değeri için termal ve rüzgar enerjili güç sistemlerinin yakıt maliyeti ve emisyon miktarı hesabı TLBO algoritması kullanılarak yapılmıştır. Bu hesaplamalarda rüzgâr enerjisinin neden geleneksel enerji kaynaklarından termal enerjiye göre daha uygun maliyetli ve çevreye daha az zararlı bir üretim şekli olduğu açıklanmıştır. Rüzgâr enerjisi ve rüzgârdan enerji elde etmenin avantajları ve geleneksel enerji üretim kaynaklarından yenilenebilir bir kaynak olan rüzgâr enerjisine dönüşümün gerekliliğinden bahsedilmiştir.

SONUÇ

Küresel ısınma ve artan dünya nüfusu göz önüne alındığında bu dönüşümün yapılması gerektiği hesaplamalarla ortaya konulmuştur. Rüzgar enerjisinin emisyon miktarı ve karbon maliyeti enerji üretim aşaması için diğer kaynaklara kıyasla çok düşük olmasına karşın ek maliyetler emisyon ve emisyon maliyetleri açısından rüzgar enerjisinin önünde oluşan bir sınırlama olmaktadır. Geleneksel enerji üretim kaynaklarından rüzgâr enerjisine geçişin diğer maliyetler düzenlenerek en kısa zamanda yapılması gerektiği görülmektedir.

SONUÇ

Çalışma neticesinde, geleneksel ve rüzgar enerjili güç sistemlerinde etkin şekilde kullanılabildiği için TLBO algoritmasını ve rüzgar enerjisinin yakıt maliyetinde sağladığı tasarruf ve emisyon miktarlarında sağladığı CO_2 salınımındaki azalma dolayısıyla rüzgar enerjisinin geleneksel güç sistemlerinde kullanılmasını önermekteyiz.

KAYNAKLAR

- [1] **Gökçınar R. E., Uyumaz A.**, 2008. Rüzgar Enerjisi Maliyetleri ve Teşvikleri VII. *Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, UTES'2008*. İstanbul s. 699-706.
- [2] **Pazheri, F.R., Othman, M.F., Malik, N.H., Al-Ammar, E.A., Rohikaa, M.R.**, 2012. Optimization of Fuel Cost and Transmission Loss in Power Dispatch with Renewable Energy and Energy Storage, *IEEE International Conference on Green Technologies, Proc. of ICGT 2012*, s. 293 – 296.
- [3] **Hetzer J., Yu C. D., Bhattarai K.**, 2008. An economic dispatch model incorporating wind power, *IEEE Transactions on Energy Conversion*, Vol. 23, s. 603-611.
- [4] **Başaran, Ü.** 2004. Türkiye'deki 380 kV'luk Enterkonnekte Güç Sisteminde Çeşitli Güç Akışı ve Ekonomik Dağıtım Analizleri, Y. Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü, 2004.
- [5] **Abeliotis K., Pactiti Despina.**, 2014. Assessment of the Environmental Impacts of a Wind Farm in Central Greece during its Life Cycle, *International Journal of Renewable Energy Research*, Vol.4(3), s.580-585.
- [6] **Peter Lang**, A report of Cost and Quantity of Greenhouse Gas Emissions Avoided by Wind Generation, <http://docs.wind-watch.org/lang-wind-power-co2-emissions.pdf>, s. 1-14.
- [7] **Leung Dennis Y.C., Caramanna G., Valer Maroto Mercedes M.**, 2014. An Overview of Current Status of Carbondioxide Capture and Storage Technologies, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 39, s. 426–443.
- [8] **Kherfane N., Kherfane R.L., Younes M., Khodja F.**, 2014. Economic and Emission Dispatch with Renewable Energy Using HSA, *Energy Procedia, Proc. of TMREES14*. Vol. 50, s. 970–979.

KAYNAKLAR

- [9] **Arabali A., Ghofrani M., Etezadi-Amoli M.**, 2013. Cost Analysis of a Power System Using Probabilistic Optimal Power Flow with Energy Storage Integration and Wind Generation, *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, Vol. 53, s. 832–841.
- [10] **Mandal B., Roy K. P.**, 2013. Optimal Reactive Power Dispatch Using Quasi-Oppositional Teaching Learning Based Optimization, *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, Vol. 53, s. 832–841.
- [11] **Kılıç U., Ayan K.**, 2013. Optimizing Power Flow of AC-DC Power Systems Using Artificial Bee Colony Algorithm, *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, Vol. 53, s. 592-602.
- [12] **Osman M.S., Abo-Sinna M.A., Mousa A.A.**, 2004. A Solution to the Optimal Power Flow Using Genetic Algorithm, *Applied Mathematics and Computation*, Vol. 155(2), s. 391–405.
- [13] **Rao R.V, Patel V.** 2012. An Elitist Teaching-Learning-Based Optimization Algorithm for Solving Complex Constrained Optimization Problems, *International Journal of Industrial Engineering Computations*, s. 535-560.
- [14] **Boucekara H.E.R.H, Abido A. M, Boucherma M.**, 2014. Optimal Power Flow Using Teaching-Learning-Based Optimization Technique. *Electric Power System Research* Vol. 114, s. 49–59.
- [15] **Schlömer S., Bruckner T., Fulton L., Hertwich E., McKinnon A., Perczyk D., Roy J., Schaeffer R., Sims R., Smith P., Wiser R.**, 2014. Annex III: Technology-specific cost and performance parameters. In: *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Editors: Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel and J.C. Minx. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, s. 1329-1356.
- [16] **Krey V., O. Masera., Blanford G., Bruckner T., Cooke R., Fisher-Vanden K., Haberl H., Hertwich E., Kriegler E., Mueller D., Paltsev S., Price L., Schlömer S., Ürge-Vorsatz D., Van Vuuren D., Zwickel T.**, 2014. Annex II: Metrics & Methodology. In: *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Editors: Edenhofer, O., Pichs-Madruga R., Sokona Y., Farahani E., Kadner S., Seyboth K., Adler A., Baum I., Brunner S., Eickemeier P., Kriemann B., Savolainen J., Schlömer S., Von Stechow C., Zwickel T., Minx J.C., Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, s. 1281-1328.

TEŞEKKÜRLER