

Rüzgar Türbinlerinde Olağandışılık Sezimi

Onur Poyraz¹ M. Burak Kurutmaz² A. Taylan Cemgil² Sinan Selamoğlu^{1 3}

¹Hesaplama Bilimler ve Mühendislik Bölümü
Boğaziçi Üniversitesi

²Bilgisayar Mühendisliği Bölümü
Boğaziçi Üniversitesi

³Borusan Arge

26. IEEE Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı
Mayıs 2018

- 1 Giriş
 - Yenilenebilir Enerji
 - Rüzgar Türbinleri
 - Problem
- 2 Kullanılan Yöntemler
 - Olağandışılık Sezimi
 - Saklı Markov Modeli
 - Üreteç Model ve Öğrenme
 - Kestirimci Dağılımın Hesaplanması
- 3 Deneyler ve Sonuçlar
- 4 Vargılar

- Sınırlı fosil yakıtlar
- Karbon salınımı
- Çevresel sorunlar
- Doğal tazelenen kaynaklar

- En düşük sera gazı salınımı
- Uygulama kolaylığı
- Yenilenebilir kaynaklardan sağlanan üretimin %53'ü [1]¹

¹ Hidroelektrik bu hesaplama dahil değildir

Rüzgar Türbinleri

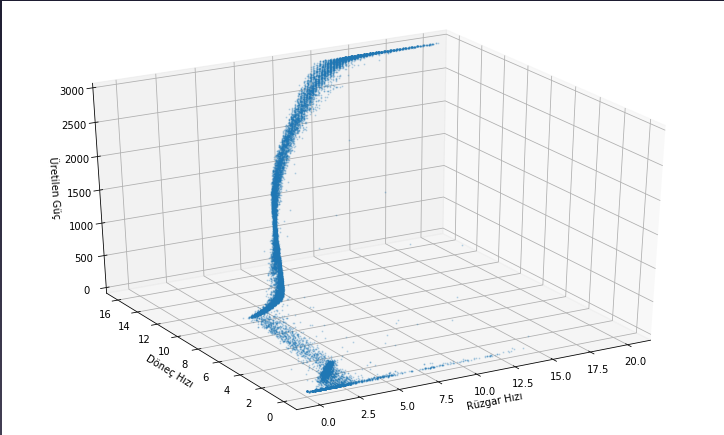
- Büyük ve pahalı aygıtlar
 - 90m çapında döneç
 - 40t döneç ağırlığı
 - 70t motor yuvası ağırlığı
- Bakım ve onarımları zor
 - Vinç ve operatör
 - Arazi şartları
 - Hava şartları
- Üretim kaybı
- 3 Mega-Watt rüzgar türbini



Rüzgar Türbini Arızaları

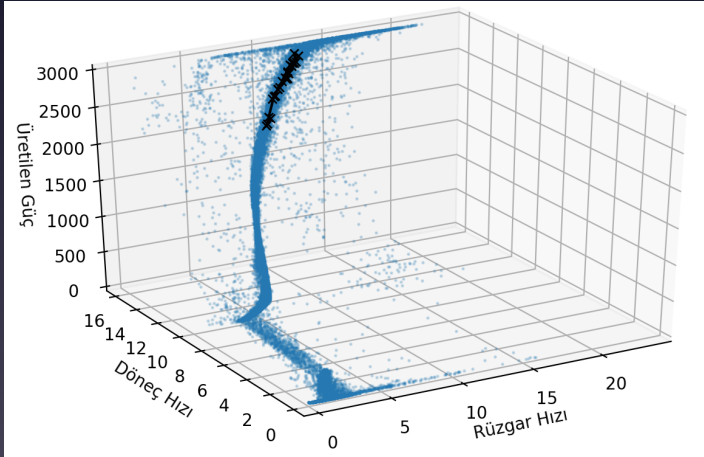


Rüzgar Türbinlerinin Güç Eğrisi



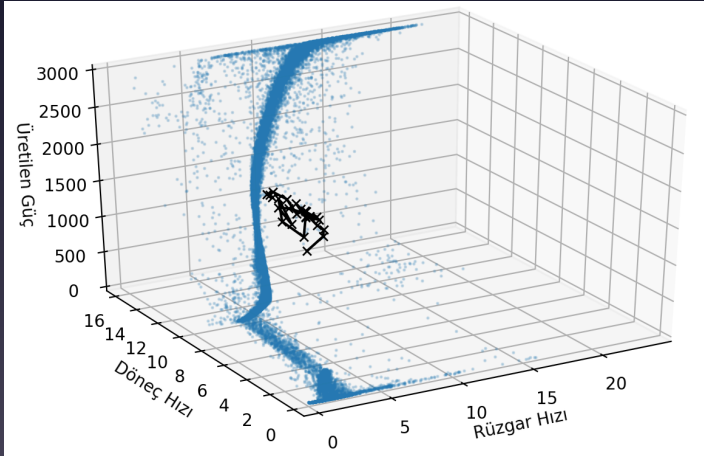
Şekil 1: Rüzgar türbininin güç eğrisi

Rüzgar Türbinlerinin Güç Eğrisi



Şekil 2: Olağan çalışma örüntüsü

Rüzgar Türbinlerinin Güç Eğrisi

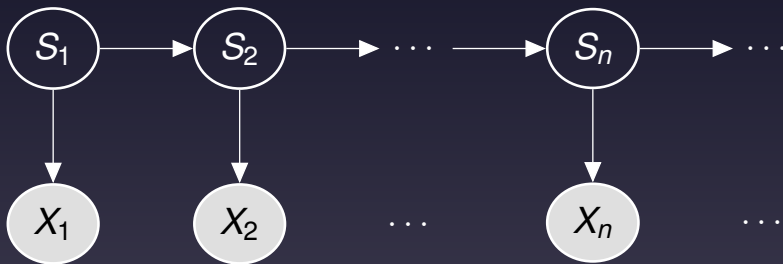


Şekil 3: Olağandışı çalışma örüntüsü

Olağandışılık sezimi, beklenen davranışa uymayan gözlemlerin tanımlanmasıdır.

- Gözetimli olağandışılık sezimi
- Yarı gözetimli olağandışılık sezimi
- Gözetimsiz olağandışılık sezimi

Saklı Markov Modeli(HMM) Grafik Gösterimi



Şekil 4: Rüzgar türbininin güç eğrisi için saklı markov modeli

- $X_n = [W_n \quad R_n \quad P_n]^T$

- W = Rüzgar hızı
- R = Döneç hızı
- P = Üretilen güç
- X = Gözlem
- S = Durum

- K farklı normal çalışma durumu
- Aykırı değerlerin görüldüğü 1 tane durum
- Durumlar arası geçiş olasılığı, π_{ij}

$$p(S_n = i \mid S_{n-1} = j) = \pi_{ij} \quad p(S_1) = \mathcal{U}\{0, K\}$$

- Gözlem dağılımları

$$p(X_n \mid S_n = i) = \begin{cases} c, & i = 0 \\ \mathcal{N}(X_n; \mu^{(i)}, \Sigma^{(i)}), & i > 0 \end{cases}$$

- $\mu^{(i)}$, $\Sigma^{(i)}$ vs π değıştirmelerinin veriden çıkarsanması

$$\begin{aligned}\langle X_n \rangle_{p(X_n|S_n=i)} &\approx m_t^{(i)} = \frac{\sum_{n=1}^N [S_n^{(t)} = i] X_n}{\sum_{n=1}^N [S_n^{(t)} = i]} \\ \langle X_n X_n^T \rangle_{p(X_n|S_n=i)} &\approx \mathcal{V}_t^{(i)} = \frac{\sum_{n=1}^N [S_n^{(t)} = i] X_n X_n^T}{\sum_{n=1}^N [S_n^{(t)} = i]} \\ C_{ij}^{(t)} &= \sum_{n=1}^{N-1} [S_n^{(t)} = j] [S_{n+1}^{(t)} = i]\end{aligned}$$

- $\mu^{(i)} \approx m^{(i)} \quad \Sigma^{(i)} \approx \mathcal{V}^{(i)} - m^{(i)} m^{(i)T} \quad \pi_{ij} \approx \frac{C_{ij}}{\sum_k C_{kj}}$
- $S_{1:N}^{(t)}$ durumlarının gerekliliğı
- Durumları sabit kabul edip değıştirmeler üzerinden *enbüyükleme*

Viterbi Algoritması

- $S_{1:N}^{(t)}$ durumlarının hesaplanması
- π , $\mu^{(i)}$ ve $\Sigma^{(i)}$ değıştirmelerinin gerekliliğı
- $S_{1:N}^{(t)}$ kestirimi izleyen özyinelemeli eşitlikle yapılabilir:

$$\underbrace{\max_{S_{1:n-1}^{(t)}} p(S_{1:n}^{(t)}, X_{1:n})}_{\phi_n(S_n^{(t)})} = p(X_n | S_n^{(t)}) \max_{S_{n-1}^{(t)}} \left(p(S_n^{(t)} | S_{n-1}^{(t)}) \underbrace{\max_{S_{1:n-2}^{(t)}} p(S_{1:n-1}^{(t)}, X_{1:n-1})}_{\phi_{n-1}(S_{n-1}^{(t)})} \right)$$

- Değıştirmeleri sabit kabul edip durumlar üzerinden *enbüyükleme*

Kestirimci Dağılım

- Tüm gözlemin kestirimci dağılımı $p(X_n | X_{1:n-1})$
- Rüzgarın kestirimci dağılımı $p(W_n | X_{1:n-1})$
- Döneç hızı ve üretilen gücün rüzgara koşullu kestirimci dağılımı $p(R_n, P_n | W_n, X_{1:n-1})$

$$p(R_n, P_n | W_n, X_{1:n-1}) = \frac{p(X_n | X_{1:n-1})}{p(W_n | X_{1:n-1})}$$

- Tüm gözlemin ve rüzgarın kestirimci dağılımının hesaplanması:

$$p(X_n | X_{1:n-1}) = \sum_{S_n} p(X_n | S_n) \sum_{S_{n-1}} p(S_n | S_{n-1}) p(S_{n-1} | X_{1:n-1})$$

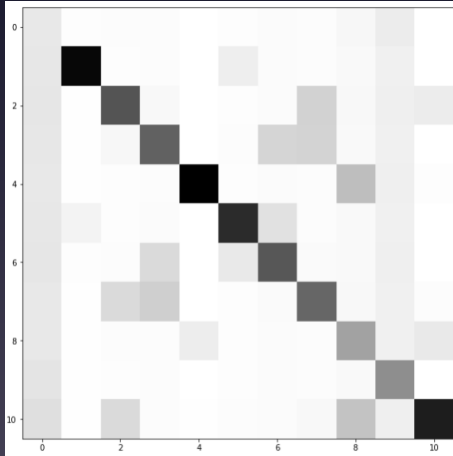
$$p(W_n | X_{1:n-1}) = \sum_{S_n} p(W_n | S_n) \sum_{S_{n-1}} p(S_n | S_{n-1}) p(S_{n-1} | X_{1:n-1})$$

- *İleri yön olasılıklarının* (forward probabilities) bulunması

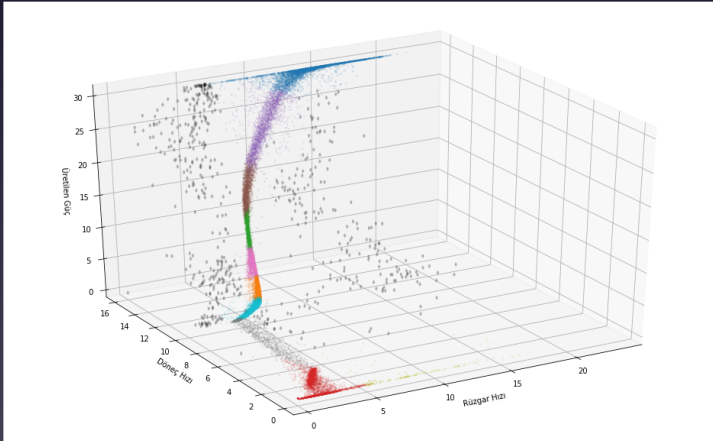
$$\underbrace{p(S_n, X_{1:n})}_{\alpha_n(S_n)} = p(X_n | S_n) \sum_{S_{n-1}} p(S_n | S_{n-1}) \underbrace{p(S_{n-1}, X_{1:n-1})}_{\alpha_{n-1}(S_{n-1})}$$

- HMM'in bulunduğu kestirimci dağılım " $p(R_n, P_n \mid W_n, X_{1:n-1})$ "
- Tanımlı uzayı eşit olasılıkta kestiren tekdüze dağılım " a "

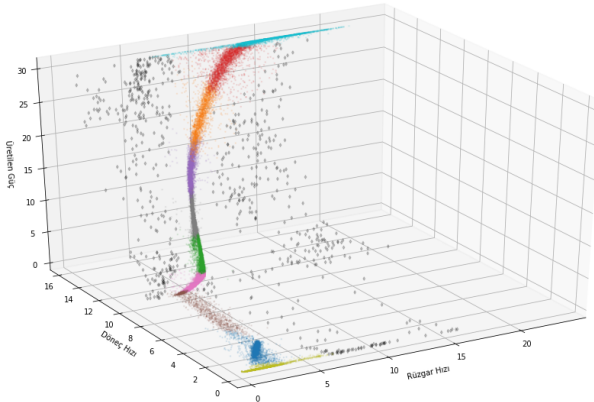
$$E_n = \frac{a}{(a + p(R_n, P_n \mid W_n, X_{1:n-1}))}$$



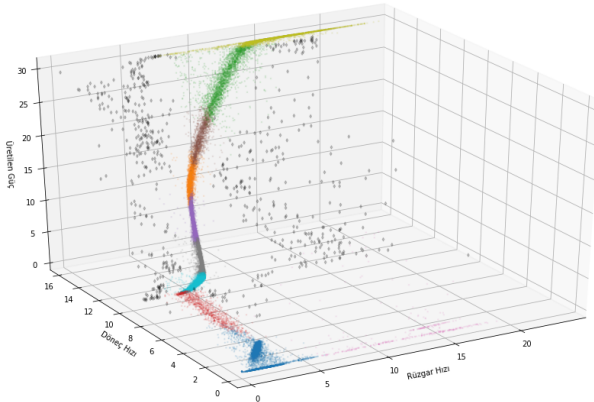
Şekil 5: Durumlar arası geçiş olasılıkları; 0. durum aykırı değerlere, diğer durumlar türbinin olağan çalışma değerlerine karşılık gelmektedir.



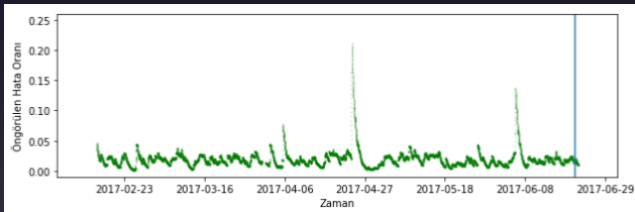
Şekil 6: Rüzgar türbini durum dağılımı örneği



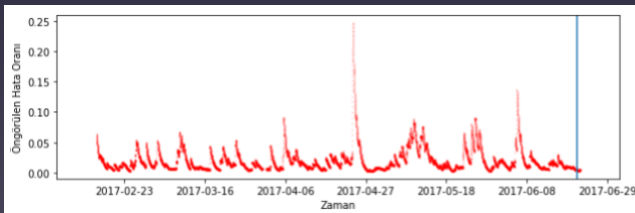
Şekil 7: Rüzgar türbini durum dağılımı örneği



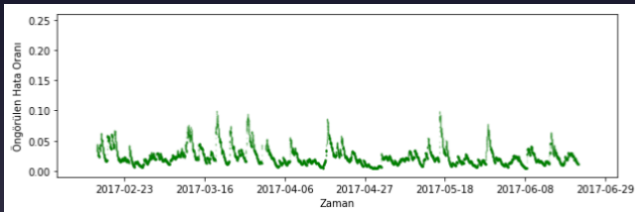
Şekil 8: Rüzgar türbini durum dağılımı örneği



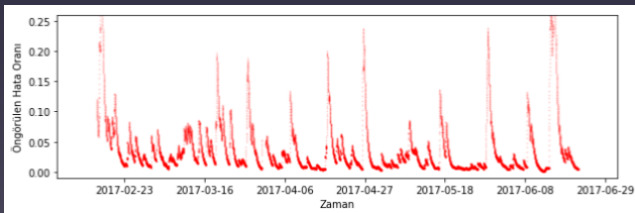
Şekil 9: Arızalanan türbin için HMM sonuçları



Şekil 10: Arızalanan türbin için GMM sonuçları



Şekil 11: Normal çalışan türbin için HMM sonuçları



Şekil 12: Normal çalışan türbin için GMM sonuçları

Bu çalışmada;

- Güç eğrisi, Saklı Markov Modeliyle çözümlenip olağan çalışma örüntüsü öğrenilmiştir.
- Güç eğrisinin zamanla olan ilişkisini göz önünde bulunduran bir model oluşturulmuştur.

- Rüzgarın yönü ve türbin bileşenlerinin sıcaklığı gibi değişkenleri, özniteliklere eklemeyi planlıyoruz.
- Çevresel koşulların etkisini inceleyebilmek için türbinlerin aynı zaman dilimlerindeki öngörülerinin çıktılarını modele girdi olarak eklemeyi planlıyoruz.

- [1] REN21 Steering Committee and others (2017)
Renewables 2017, Global Status Report
Renewable Energy Policy Network for the 21st Century.
- [2] Rabiner, Lawrence R (1989)
A Tutorial on Hidden Markov Models and Selected Applications in Speech Recognition
Proceedings of the IEEE 77(2), 257–286.
- [3] Romero, A and Lage, Y and Souza, S and Wang, B and Gan, T-H (2016)
Vestas V90-3MW Wind Turbine Gearbox Health Assessment Using a Vibration-Based Condition Monitoring System
Shock and Vibration 2016.
- [4] Kim, Kyusung and Parthasarathy, Girija and Uluyol, Onder and Foslien, Wendy and Sheng, Shuangwen and Fleming, Paul (2011)
Use of SCADA Data for Failure Detection in Wind Turbines
ASME 2011 5th International conference on energy sustainability 2071–2079.

- [5] Evans, Annette and Strezov, Vladimir and Evans, Tim J (2009)
Assessment of Sustainability Indicators for Renewable Energy Technologies
Renewable and Sustainable Energy Reviews 13(5), 1082–1088.
- [6] Kusiak, Andrew and Verma, Anoop (2011)
Prediction of Status Patterns of Wind Turbines: A Data-Mining Approach
Journal of Solar Energy Engineering 133(1), 011008.
- [7] Kusiak, Andrew and Li, Wenyan (2011)
The Prediction and Diagnosis of Wind Turbine Faults
Renewable Energy 36(1), 16–23.
- [8] Yang, Wenxian and Jiang, Jiesheng (2013)
Wind Turbine Condition Monitoring by the Approach of SCADA Data Analysis
Renewable Energy 53, 365–376.
- [9] Ouyang, Tinghui and Kusiak, Andrew and He, Yusen (2017)
Modeling Wind-Turbine Power Curve: A data Partitioning and Mining Approach
Renewable Energy 102, 1–8.

Teşekkürler