

Yatay Eksenli Rüzgar Türbinleri İçin Gürbüz Tasarım Yöntemi

A. Hazal Altuğ Yalçın
Doçent Dr. İlkay Yavrucuk
Prof. Dr. Oğuz Uzol

Havacılık ve Uzay Mühendisliği, ODTÜ
Rüzgar Enerjisi Teknolojileri Uygulama ve Araştırma Merkezi (RÜZGEM)
Ankara, Türkiye

Motivasyon

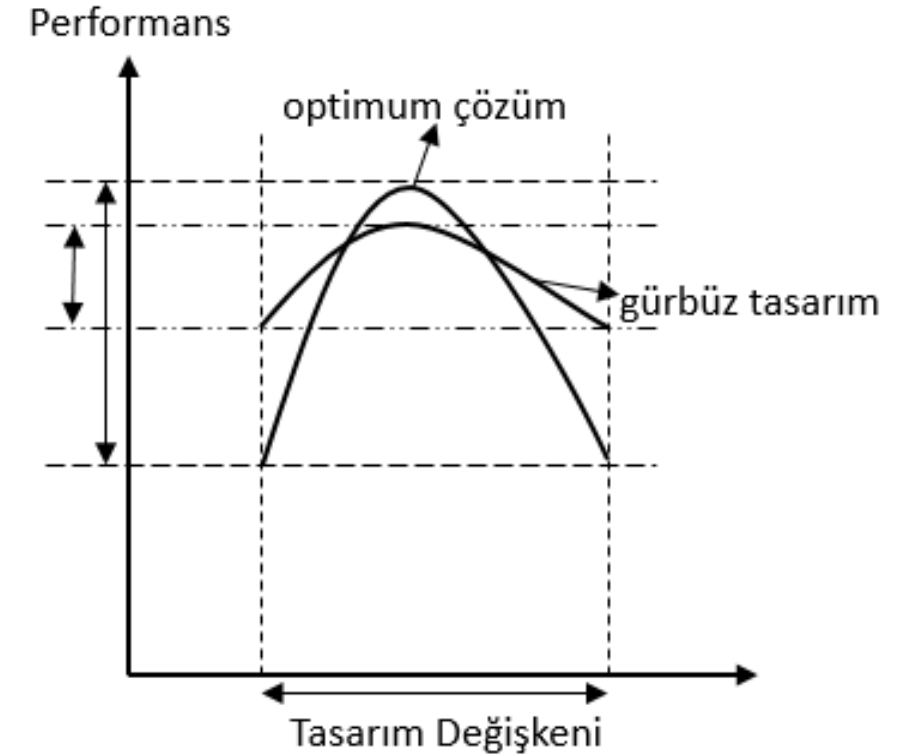
Yatay eksenli rüzgar türbinleri için kontrol edilebilen ve edilemeyen tasarım parametrelerini ve çeşitli fiziksel kısıtlamaları dikkate alarak enerji maliyetini düşürmeyi hedefleyen gürbüz tasarım yöntemi.

- Geniş tasarım alanlarının incelenmesi
- Hesaplama maliyetinin düşürülmesi
- Kontrol edilemeyen parametrelerin tasarım hedefi üzerindeki etkilerinin incelenmesi
- Tasarımın gürültü değişkenlerine duyarsız kılınması
- Tasarım hedefine ulaşma olasılığının maksimize edilmesi

Gürbüz Tasarım (*Robust Design*)

Kontrol edilebilen tasarım değişkelerini, performansı kontrol edilemeyen tasarım değişkenlerine duyarsız kılacak şekilde seçmek *

- Performansı tasarım değişkenlerinden bağımsız hale getirmek
- Performans hedeflerine ulaşırken, performanstaki varyasyonu minimuma düşürmek



*Taguchi, G. 1986. *Introduction to quality engineering: designing quality into products and processes*. Tech. Rep.

Gürbüz Tasarım Simülasyonu Yöntemi

Olasılıksal bir gürbüz tasarım yöntemi

- Tüm alt sistemler aynı anda ele alınır
- Tasarım esnasında gürültü değişkenleri de dikkate alınır
- Tasarımı etkileyen başlıca değişkenler belirlenir
- Hedefin gürültü (belirsiz) değişkenlerinden nasıl etkilendiği ortaya çıkarılır
- Değerlendirme kriterleri en üst düzeye çıkarılırken, tasarımsal ve çevresel kısıtlamalar dikkate alınır
- Tasarımın sonucu standart bir optimizasyondan farklı olarak hedefe ulaşma olasılığı olarak hesaplanır

Gürbüz Tasarım Simülasyonu Yönteminde Kullanılan Metodlar

➤ Deney Tasarımları – DT (*Design of Experiments*)

- Büyük tasarım uzayını düşük hesaplama maliyeti ile incelemek

➤ Tepki Yüzeyi Denklemi – TYD (*Response Surface Equation*)

- Girdiler ve çıktılar arasındaki ilişkiyi gösteren çok boyutlu bir polinom
- DT metoduyla elde edilen girdi ve çıktı verileri kullanılarak oluşturulur
- Hesaplama maliyetini düşürür

$$TYD = a + \sum_{i=1}^k b_i x_i + \sum_{i=1}^k c_i x_i^2 + \sum_{i=1}^{k-1} \sum_{j=i+1}^k d_{ij} x_i x_j$$

Gürbüz Tasarım Simülasyonu Yönteminde Kullanılan Metodlar

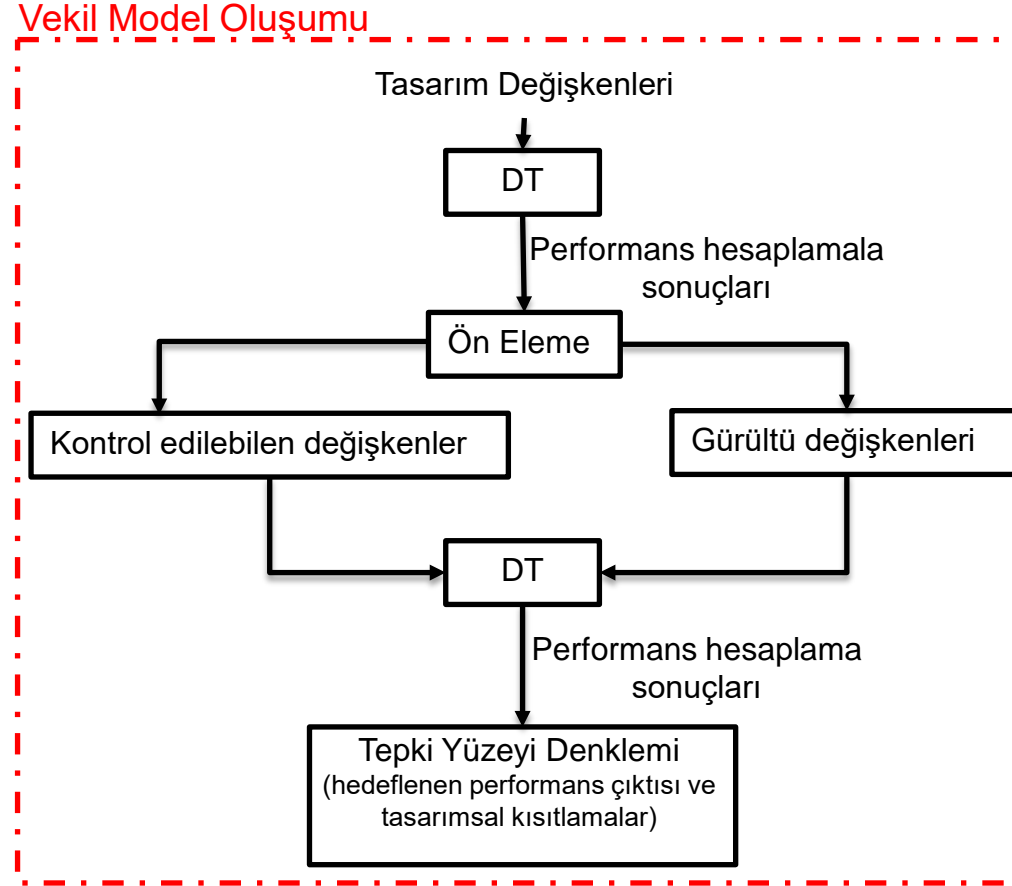
➤ Ön Eleme (*Screening*)

- Tasarımın hedefi için önem arz etmeyen değişkenlerin eler
- Tasarım parametresi uzayını küçültür

➤ Monte Carlo Simülasyonları

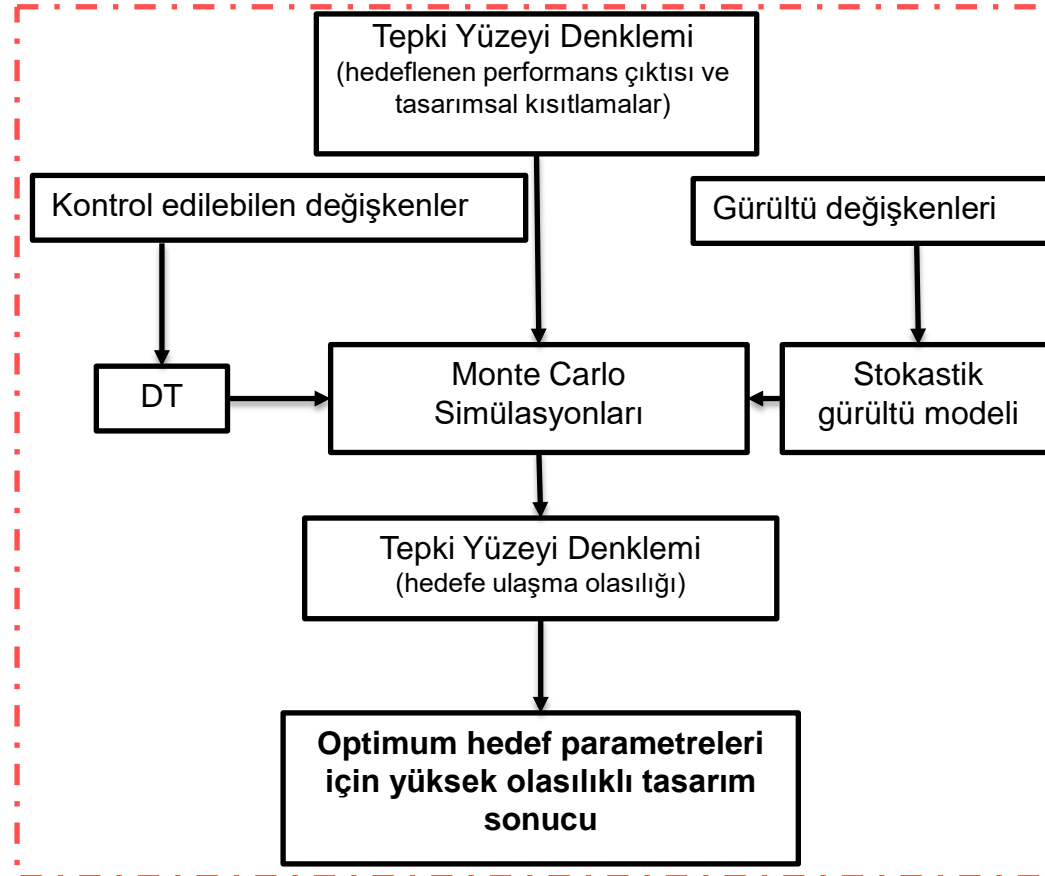
- Tasarım performansının istatiksel dağılımını bulmak için kullanılır
- Tasarım parametrelerindeki belirsizliğin tasarım üzerindeki etkisi olasılık dağılımı olarak incelenir
- TYD olmadan kullanmak hesaplama maliyetini elverişsiz hale getirir

Gürbüz Tasarım Simülasyonu Yöntemi Adımları



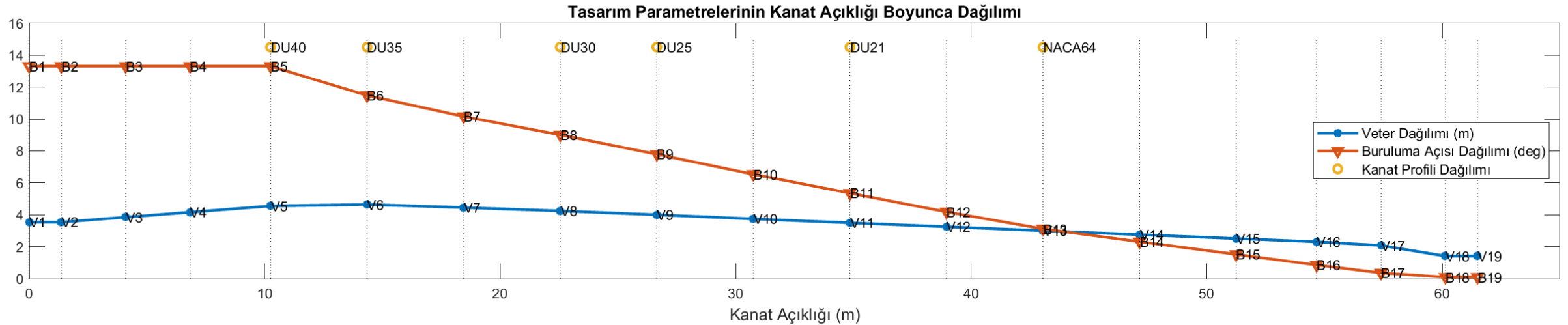
Gürbüz Tasarım Simülasyonu Yöntemi Adımları

Olasılıksal Gürbüz Tasarım Simülasyonu



Tasarım Parametreleri

- NREL 5 MW yatay eksenli rüzgar türbini referans tasarım
- Kanat geometrisini tanımlayan parametreler;
 - Veter parametresi 19 farklı kanat açıklığı noktasında
 - Burulma açısı parametresi 19 farklı kanat açıklığı noktasında
 - Kalınlık-veter oranı 19 farklı kanat açıklığı noktasında tanımlı olan 6 farklı kanat profili için
- Toplamda 57 kanat geometrisi parametresi



Gürültü Parametreleri

➤ Türbülans Yoğunluğu (*Turbulence Intensity- TI*)

- Rüzgar hızının standart sapmasının ortalama rüzgar hızına oranıdır
- %5<TI<%20

$$TI = \frac{\sigma_u}{U}$$

➤ Üssel Yasa (*Power Law*)

- Rüzgar hızının yüksekliğe bağlı olarak değişmesini ifade eder
- 0.07< α <0.5

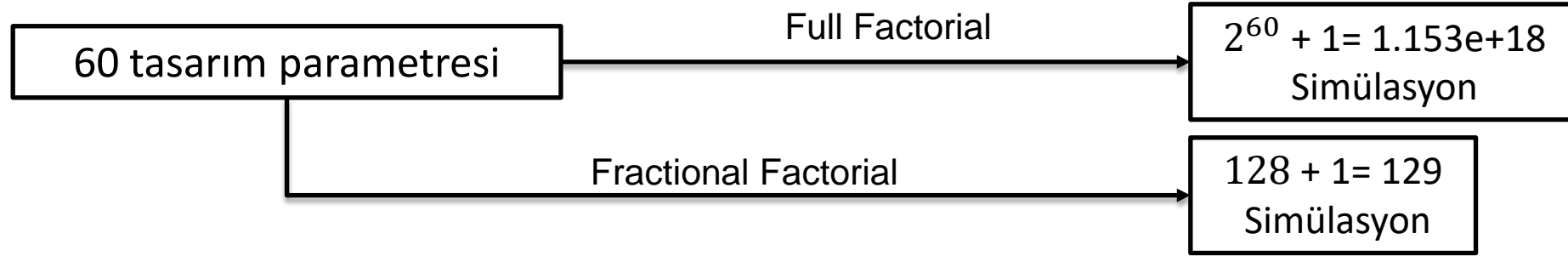
$$\frac{U(Z)}{U(Z_r)} = \left(\frac{Z}{Z_r}\right)^\alpha$$

➤ Yüzey Pürüzlülüğü (*Surface Roughness*)

- Arazinin yapısı üssel yasa kat sayısını etkiler
- Yüzey pürüzlülüğü uzunluğu, sert meralar için 0.1 m, banliyöler için 1.5 metredir

Ön Sonuçlar

➤ Deneysel Tasarımları



➤ Ön Eleme

- Parametrelerin etkisini hesaplamak için t-oranı kullanılmıştır

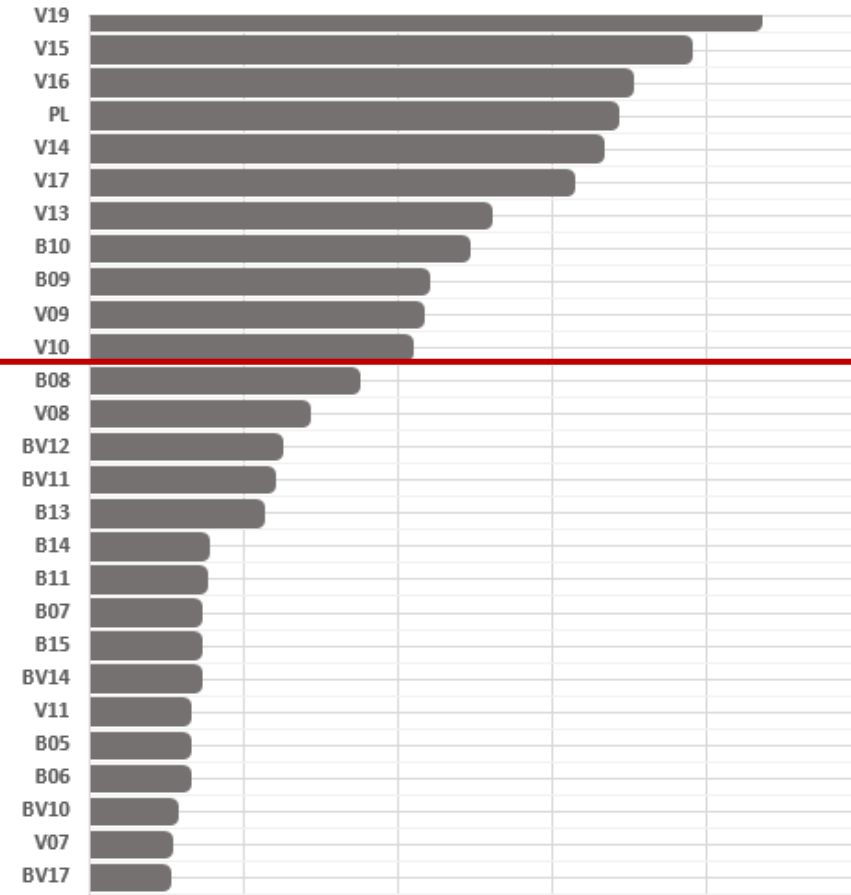
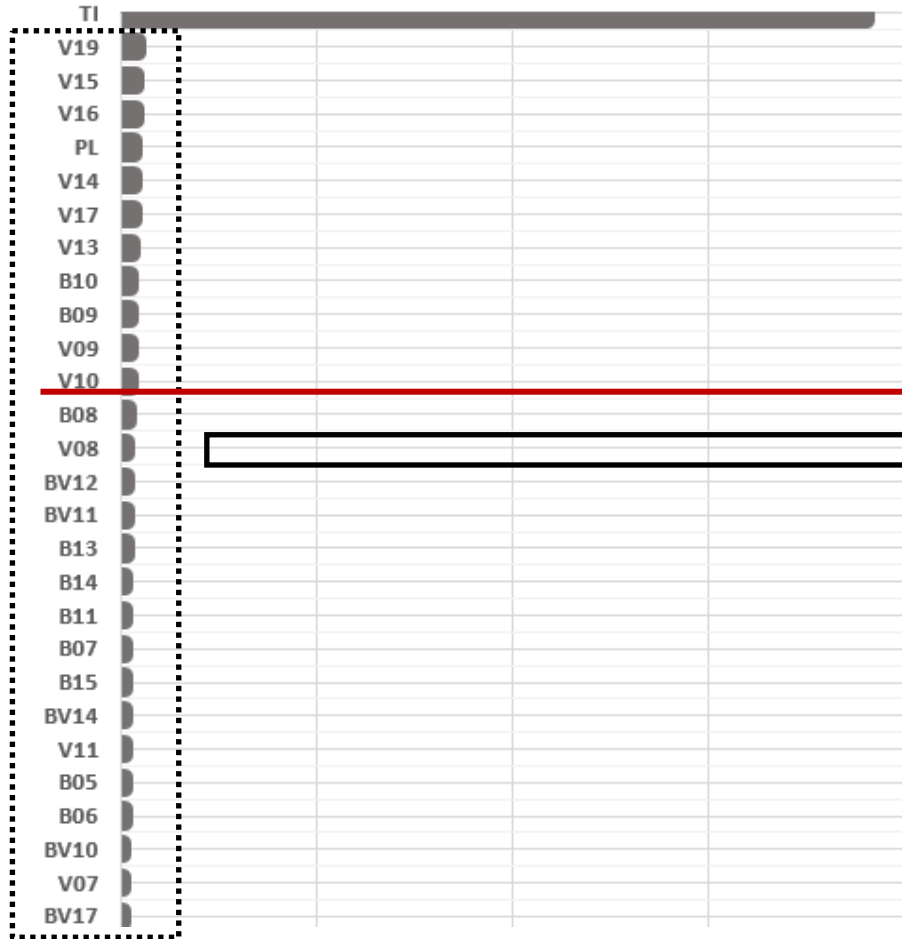
$$t_{\hat{\beta}} = \frac{\hat{\beta}}{s/\sqrt{n}}$$

$\hat{\beta} = \beta$ parametresinin tahmin edilen değeri
 s = popülasyonun standart hatası
 n = popülasyon büyüklüğü

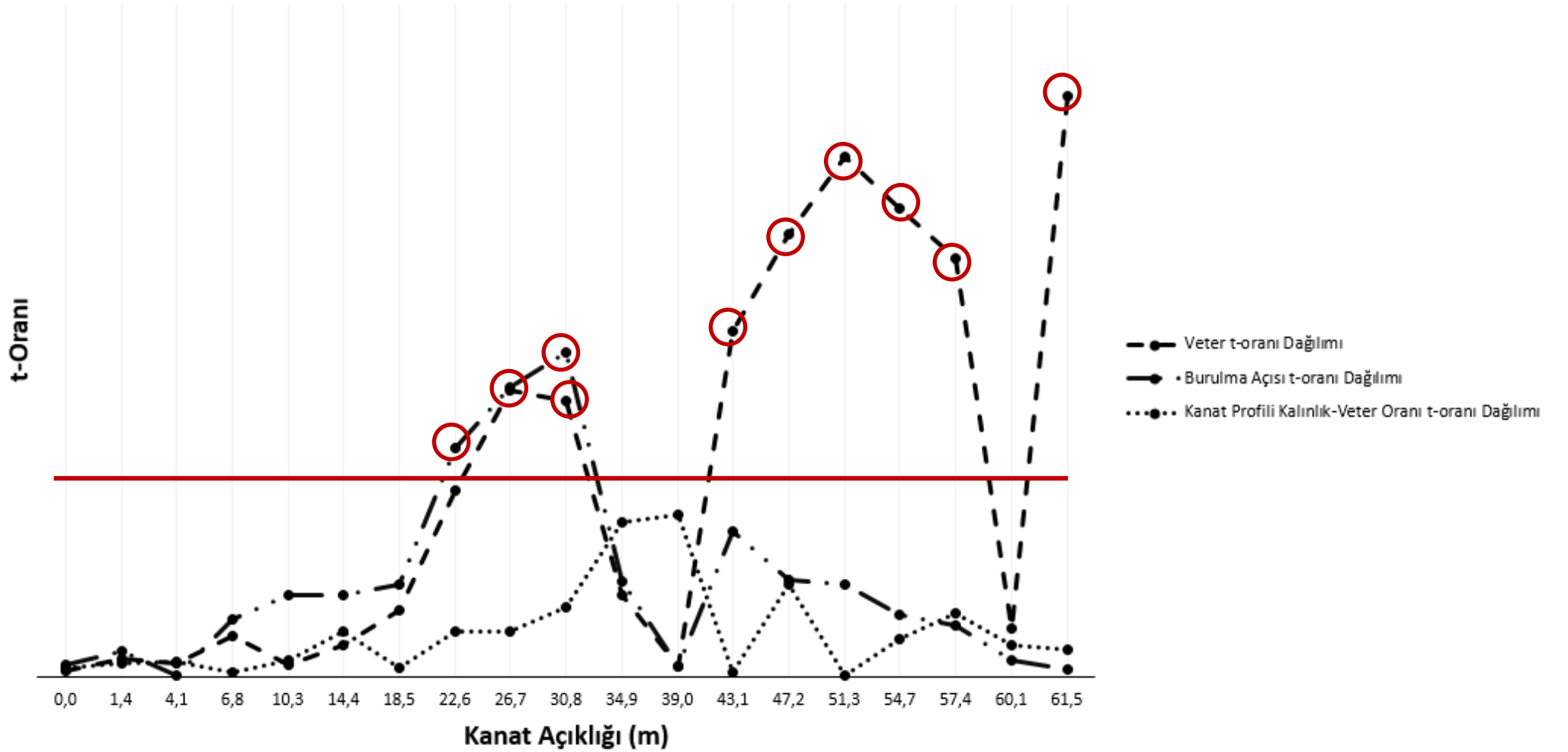
- Her değişkenin tepki üzerindeki bireysel etkisini gösterir
- Yüksek t-oranı değeri, o parametrenin tepki üzerindeki etkisinin yüksek olduğunu gösterir

Ön Sonuçlar

Pareto Grafiği



Ön Sonuçlar

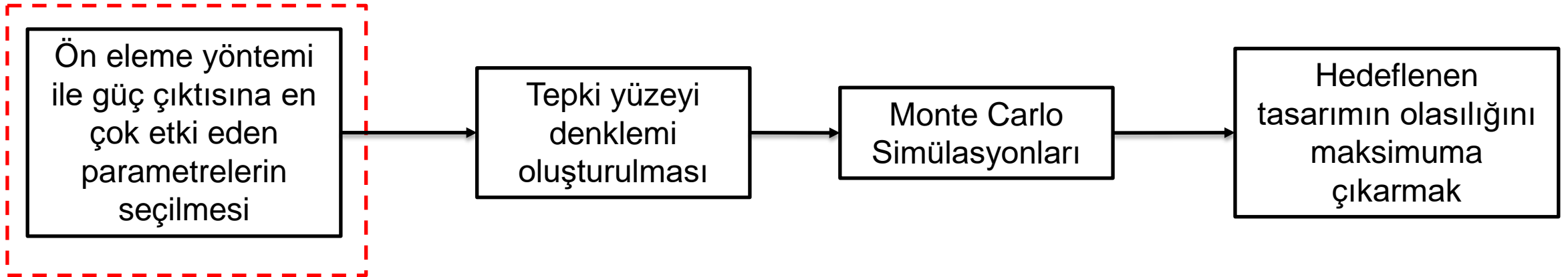


Ön Sonuçlar

57 kanat geometrisi parametresi
+
3 gürültü parametresi

ön eleme

10 kanat geometrisi parametresi
8 veter parametresi ve 2 burulma açısı
parametresi
+
2 gürültü parametresi
türbülans yoğunluğu ve üssel yasa katsayısı



Sonuç

Yatay eksenli rüzgar türbinleri için gürbüz tasarım yönteminin kullanılması;

- Tasarım için sistematik ve bütünsel bir yaklaşım sağlar
- Belirlenen tasarım uzayı içerisinde hedefe ulaşma olasılığını verir
- Türbin tasarımı süresince belirsizlikleri ve kısıtlamaları göz önünde bulundurur
- Hesaplama maliyetini azaltır