

Çoklu İş Ortamlarında Robust Design ile Verimliliğin Arttırılması

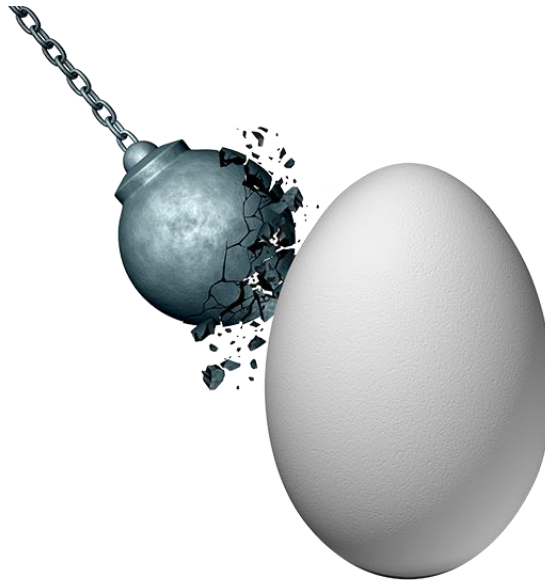
HAZIRLAYAN
Doğukan Alkan Yapısal Analiz Mühendisi

Tarih : 03 / 04 / 2024

Robust Design, ürün tasarımı ve geliştirme sürecinde önemli bir kavram olmaktadır. Bu kavram, ürünlerin çeşitli değişkenlere karşı dayanıklılığını ve performansını artırmak için kullanılır. Endüstriyel süreçlerde, ürünlerin dayanıklılığını artırmak ve maliyetleri düşürmek için Robust Design yöntemleri önemli bir yer tutmaktadır. Bu teknik yazıda, Robust Design kavramının çoklu iş ortamlarında verimliliği arttırmada nasıl kullanılabileceği ve CAEfatigue'nin bu süreçteki rolü ele alınacaktır.

1. Giriş

Robust bir ürün; ortamdaki, üretim sürecindeki, iç bileşenlerindeki veya kullanıcı davranışındaki değişikliklere daha az etkilenecek şekilde tasarlanmış bir üründür. Robust ürünler, bu değişikliklerden bağımsız olarak minimum değişimle tutarlı bir şekilde çalışacak şekilde tasarlanmıştır.



Figür 1 – Robust Design Temsili Görsel

2. Robust Design Nedir?

Robust Design, ürün tasarımının optimize edilmesi ve ürünün çeşitli değişkenlere karşı stabilitesinin sağlanması amacıyla kullanılan bir metodolojidir. Bu yaklaşım, ürünlerin tasarımında kullanılan malzemelerin, işleme yöntemlerinin, toleranslarının ve diğer faktörlerindeki değişimlere karşı dirençli olmasını sağlamaktadır. Böylece, ürünlerin üretim sürecinde karşılaşılan belirsizliklere ve değişkenlere karşı dayanıklılığı artırılır. Dayanıklı ve sağlam olan bu tasarım, yapısal anlamda değil, çevresinden etkilenmeyen, değişken durumlar altında aynı performansı gösteren olarak algılanmalıdır. Çünkü Robust Design, bir ürünün geliştirme, üretim ve kullanım sırasında değişkenliklerden etkilenmeyen ürünler tasarlamayı hedeflemektedir.

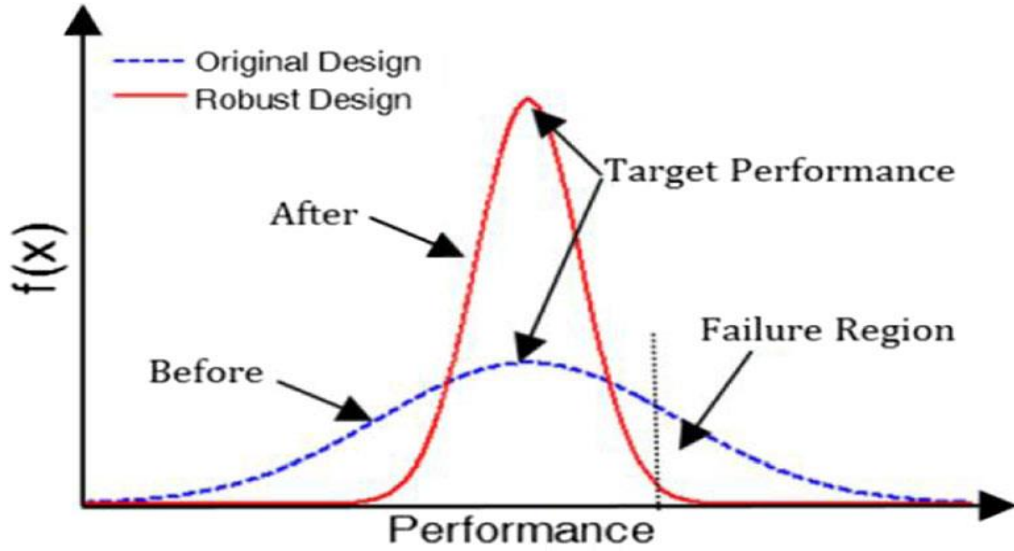
Robust'lık, genellikle iki farklı süreçte incelenmektedir. Birincisi, üretim sürecindeki Robust'lık; ikincisi ise kullanım sürecindeki Robust'lıktır. Üretim sürecindeki Robust'lık, üretim aşamasında her türlü değişkenliğin (teçhizat, personel, ortam, vb.) etkisinin en aza indirilmesini ifade etmektedir. Örneğin; bir ürünün performansı üretim operatöründen, kullanılan ekipmandan ve üretim ortamının koşullarından etkileniyorsa, üretim süreci Robust olmamaktadır.

Üretim sürecinde Robust olunabilmek için;

- Kullanılan malzemenin özelliklerindeki değişimin en aza indirilmesi,
- Kullanılan üretim yönteminden kaynaklanan değişkenliklerin en aza indirilmesi (örneğin, tam otomatik üretim tezgahları, hassas çalışan enjeksiyon kalıpları, vb.),
- Üretimi gerçekleştiren personelin etkisinin en aza indirilmesi,
- Ortam koşullarındaki değişkenliğin en aza indirilmesi gerekir.

Kullanım aşamasındaki Robust'lık ise, ürünün kullanıldığı şartlardaki değişkenlikten etkilenmediği durumu ifade etmektedir. Örneğin, bir ürünün hem yüksek sıcaklıkta hem de düşük sıcaklıkta sorunsuz çalışması bekleniyorsa, ancak ürün yalnızca bir sıcaklık aralığında çalışıyorsa bu ürün Robust değildir. Örnek olarak, geçmiş yıllarda üretilen cep telefonlarının TFT tipi ekranları verilebilir. TFT tipi ekranlar, sıcak ortamlarda tepki sürelerini kısaltırken, soğuk ortamlarda tepki sürelerini uzatabilmektedir.

Özetle Robust Design, bir ürünün üretim ve kullanım aşamalarındaki değişkenliklerden en az şekilde etkilenmesini sağlayan yöntemdir. Bu amaçla, üretim Robust'lığı için uygun malzeme seçimi, doğru üretim tekniği ve uygun üretim ortamı gibi faktörler dikkate alınmalıdır. Ürünün kullanımı sırasındaki Robust'lık için ise, tüm kullanım koşulları ve kullanıcı davranışları göz önünde bulundurularak tasarım yapılmalıdır.



Figür 2 – Robust Design Yaklaşımı Sonucundaki Performans Değişikliğini Gösteren Grafik

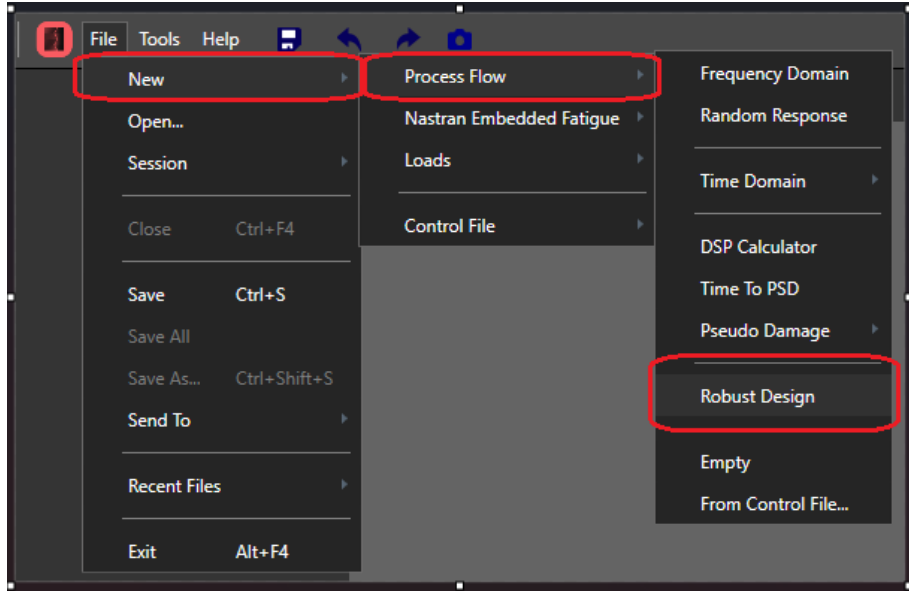
3. CAEfatigue içerisinde Robust Design

CAEfatigue'deki Robust Design, hem Çözücü hem de Yorulma parametreleri üzerinde verimli bir şekilde rastsal simülasyonlar gerçekleştirilmesini sağlar. Bu çözüm , ürünün gerçekte karşılaşılabileceği çok çeşitli operasyonel senaryoları güvenilir bir şekilde değerlendirilmesine olanak tanır. CAEfatigue Robust Design, gerçekliğin simüle edilmesine yardımcı olur ve içerisinde gerçekleştirilen analizler yoluyla dayanıklılık/yorulma ömrü performansını değerlendirirken, diğer FEA çözücülerıyla de ortak çalışabilmektedir.

Sonlu eleman modeli ile birlikte modelde kullanılan girdi değişkenleri üzerindeki, toleransların belirlenmesiyle başlar. Her bir tolerans belirli mühendislik limitleri ve belirli bir dağılım fonksiyonu ile tanımlanır. Model daha sonra birçok kez (genelde 100) çalıştırılır ve girdi değişkenlerinin her biri atanan tolerans dahilinde rastgele değiştirilir. Gelişmiş Monte-Carlo tekniği ile, oldukça fazla miktarda bilgi taşıyan nokta grafikleri (Ant Hill) oluşturulur.

Robust Design; rastsal simülasyon gerçekleştirmek amacıyla, girdilere belirsizliği dahil etmek için kullanılmaktadır. MSC Nastran girdi dosyası (BDF) ile kalınlık, malzeme özellikleri, yay sertliği, giriş kesitleri ve uygulanan yükler gibi girdi tasarım değişkenlerinin herhangi biri veya tümü için toleranslar ve dağılımlar belirtilerek yapılmaktadır.

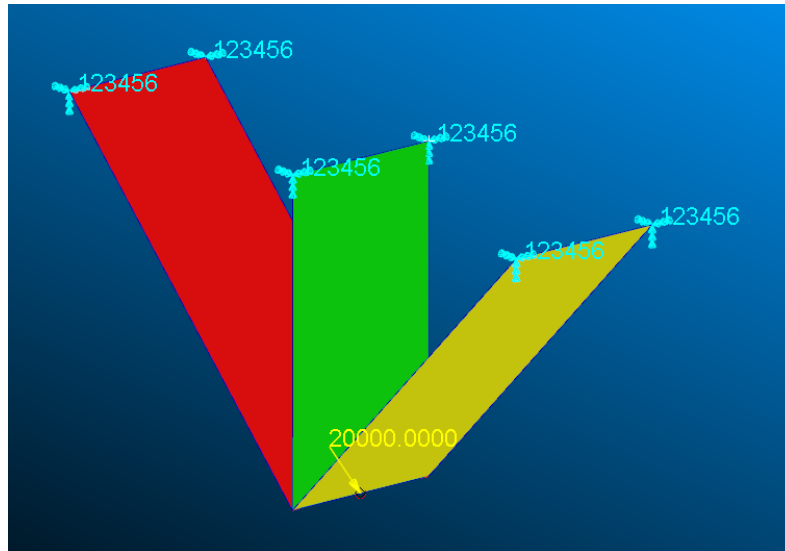
Robust Design kullanabilmek için, Figür 3'de gösterilen menüden Robust Design şablonunun seçilmesi gereklidir. Model dosyaları, MSC Nastran, Nastran Embedded Fatigue (NEF) veya CAEfatigue kontrol dosyası yardımıyla eklenebilmektedir.



Figür 3 – CAEfatigue Robust Design Şablonunu gösteren menü

4. CAEfatigue ile Robust Design Çalışması

Robust Design çalışması, CAEfatigue içerisindeki uygun şablon yardımıyla yapılmaktadır. Figür 4'te gösterilen örnek çalışma modeli, 3 adet shell eleman içermektedir. Shell elemanlara QUAD4 ile sonlu eleman ağı oluşturulmuştur. Shell kalınlığı 5 mm, kullanılan malzemenin mekaniksel özellikleri; 70 Gpa Young Modülü ve 0.33 Poisson değeri olarak verilmiştir. Yüzeylerin üst taraflarında bulunan toplam 6 node'dan 6 yönde sınır şartı uygulanmıştır. Yüzeylerin tam ortasındaki node'dan ise kuvvet etki etmektedir.



Figür 4 – Robust Design Çalışması Modeli

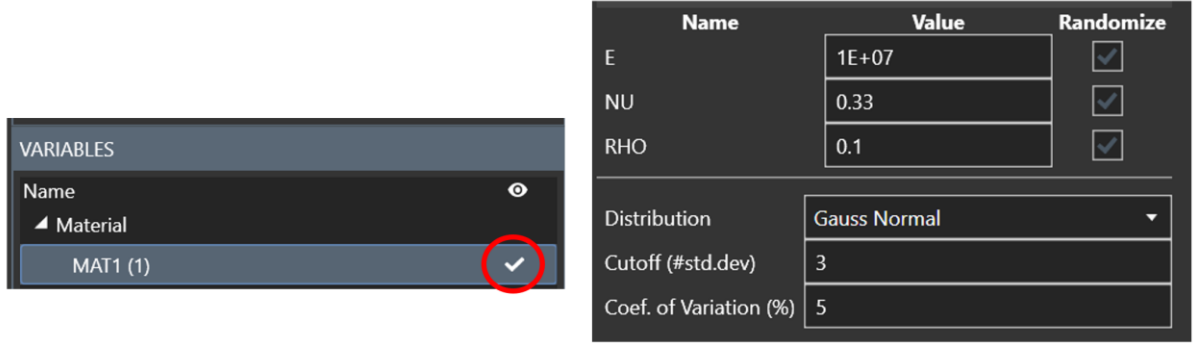
Modelde bulunan kısıtlamalar, izin verilen maksimum çekme gerilmesi = 140 MPa, izin verilen maksimum basma gerilmesi 105 MPa ve yük uygulanan node'un X ve Y yönünde izin verilen maksimum hareketi 5 mm ile sınırlandırılmıştır.

VARIABLES	
Name	
Material	
MAT1 (1)	✓
Property	
PSHELL (11)	✓
PSHELL (12)	✓
PSHELL (13)	✓
Connector	
RBE3 (101)	✓
Load	
FORCE (300, 414)	✓
FORCE (310, 414)	✓
Output	
SOL 101	
Subcase 1	
Displacement	✓
Stress	✓
Subcase 2	
Displacement	✓
Stress	✓
Global	
Mass	✓

Figür 5 – Robust Design Değişken Kontrol Menüsü

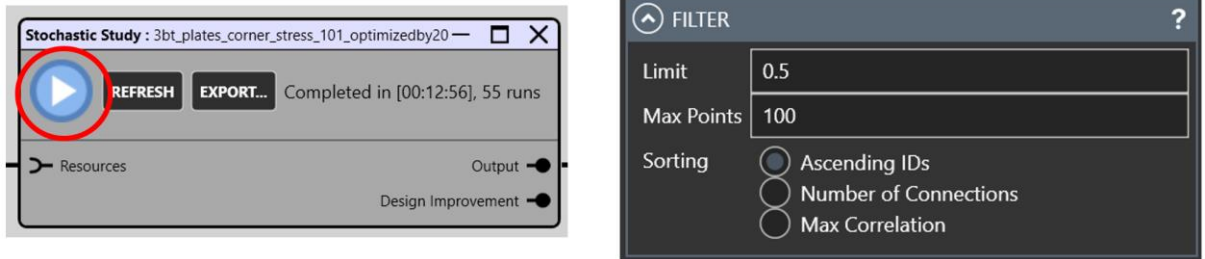
Figür 5'te gösterilen menü, Robust Design'in kalbidir. Kullanıcılar bu kutulardan ve menülerden değiştirilecek değişkenleri ayarlayabilir ve Decision Map içindeki sonuçlardan elde edilen özet verileri görüntüleyebilir. Ayrıca bu menüden rastsal analiz için çalıştırma sayısı seçilir. Tanımlanan değişkenlerden, benzersiz bir değişken kombinasyonu ile varsayılan olarak 100 analiz çözdürülmektedir. Concurrent Run kısmında ise, eşzamanlı olarak kaç analizin çözüleceği seçilebilmektedir. Menüde gözükten diğer parametrelerde, malzeme, MPC, property ve yük varyasyonlarını belirtmektedir.

Figür 5'te gösterilen parametrelerden her birisi için nominal değerler, Nastran girdi dosyasından gelmektedir. Bu kısımda kullanıcı, her bir paramatrenin analizde etki edip etmeyeceğinin seçimini yapabilmektedir.



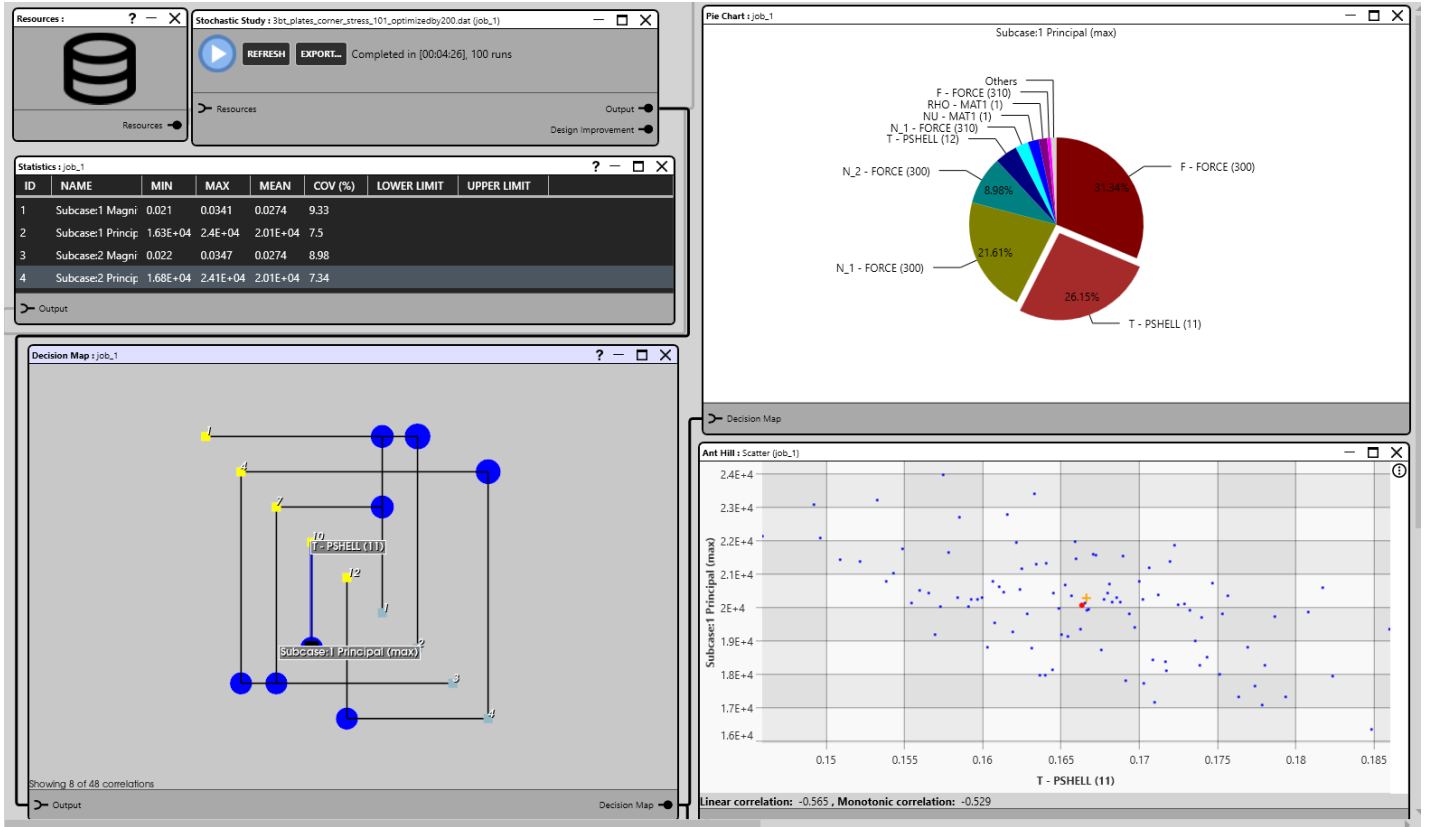
Figür 6 – Malzeme parametresinin seçilmesi ve ayarlarının yapılması

Gerekli girdi dosyası sağlandığında ve istenilen parametrelerin seçimi yapıldığında Robust Design analizi çalıştırılır. Bu noktada, değerlendirmede kullanılmak istenen girdi değişkenlerinin ve buna bağlı olarak, kullanılacak çıktı değişkenlerinin seçimin CAEfatigue içerisinde yapılması gerekmektedir. Bu örnekte; malzeme, kuvvet, shell eleman kalınlık değerlerinin ve çıktı değişkenlerinin (Stress ve Deformasyon) seçimi yapılarak Robust Design analizi çalıştırılır. Sonuçlar elde edildikçe ve çalışma tamamlandığında değişken tablosu periyodik olarak güncellenmektedir.



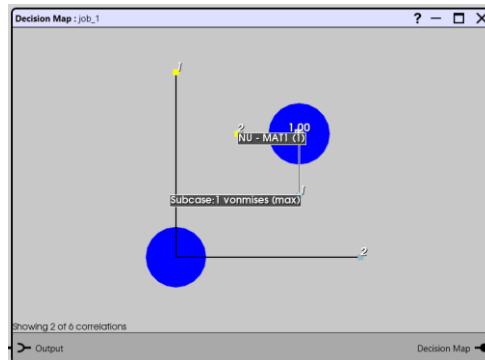
Figür 7 – Analiz Sonuçlarının İncelenmesi

Gerekli analizler tamamlandıktan sonra, Refresh butonu ile tüm çözümlerin nihai sonucu görüntülenmektedir. Girdi ve çıktılar arasındaki çeşitli korelasyonlar incelenebilmektedir. Bu inceleme için, sol taraftaki Filter menüsünden "Decision Map" görüntüleyicisine tıklanır. Bu çıktılar, özet verilerini, istatistik tablosunu, çıktı parametresi başına sıralanmış korelasyon sonuçlarının Pasta Grafiğini ve girdi ile çıktı parametreleri arasındaki analiz sonuçlarını gösteren bir Ant Hill grafiğini içermektedir.



Figür 8 – Robust Design Analiz Sonuçları

Figür 8'deki sonuçlar incelendiğinde, Decision Map'teki girdi değişkenleri (sarı nokta ile gösterilir) ve çıktı değişkenleri (açık mavi ve küçük boyutlu olarak gösterilir) arasındaki tüm ilgili korelasyon ilişkilerinin tutarlı bir görünümü sağladığı gözükmetedir. Koyu mavi noktaların boyutu ise, girdi ve çıktı çiftleri arasındaki korelasyon değerlerinin gücünü göstermektedir. Nokta ne kadar büyükse korelasyon değeri de o kadar yüksektir.



Figür 9 – Decision Map Kısmi Sonuçları

Figür 9'daki Decision Map yalnızca +/-0,5 veya daha iyi bir değere sahip korelasyon ilişkilerini göstermektedir. Bu durumda, sadece 3 girdinin çıktı değişkenleri ile güçlü korelasyon ilişkisi vardır. Örneğin; Force girdi değişkeni, birinci adımdaki Principal stress ile 0,680'lik doğrusal bir korelasyona sahiptir. Bu ilişki için veriler, değişkenleri birbirine bağlayan koyu mavi daireler seçilerek ve ardından ANT HILL grafiği görüntülenerek incelenmektedir.

Fare imleci ile Decision Map'teki diyagonal girdilerinin üzerine gelindiğinde, bir girdi ile bir çıktı arasındaki bağlantı derecesini gösteren bağlantı vurgulanmaktadır. Koyu mavi daire noktalarından herhangi birine tıklandığında, ilgili girdi-çıkıtı ilişkisine yönelik Ant Hill grafikleri gösterilmektedir.

5. Referanslar

- I. CAEfatigue Software (Cf) USER GUIDE 2024
- II. CAEfatigue Software (Cf) USER GUIDE EXAMPLES
- III. CAEfatigue Software (Cf) Training PDF's — Background Theory
- IV. A Robust Design Approach Incorporating Uncertainties in an Automotive Durability Assessment, Dr. P. Roemelt, 2022, Germany