

KARA TAŞITLARINDA AMORTİSÖR PERFORMANS OPTİMİZASYONU

HAZIRLAYAN

ÖNDER TÜRKAN
SATIŞ ÖNCESİ TEKNİK
MÜDÜRÜ

Tarih: 26/07/2022

KISALTMALAR

DoE: Design of Experiment

RMS: Root Mean Square

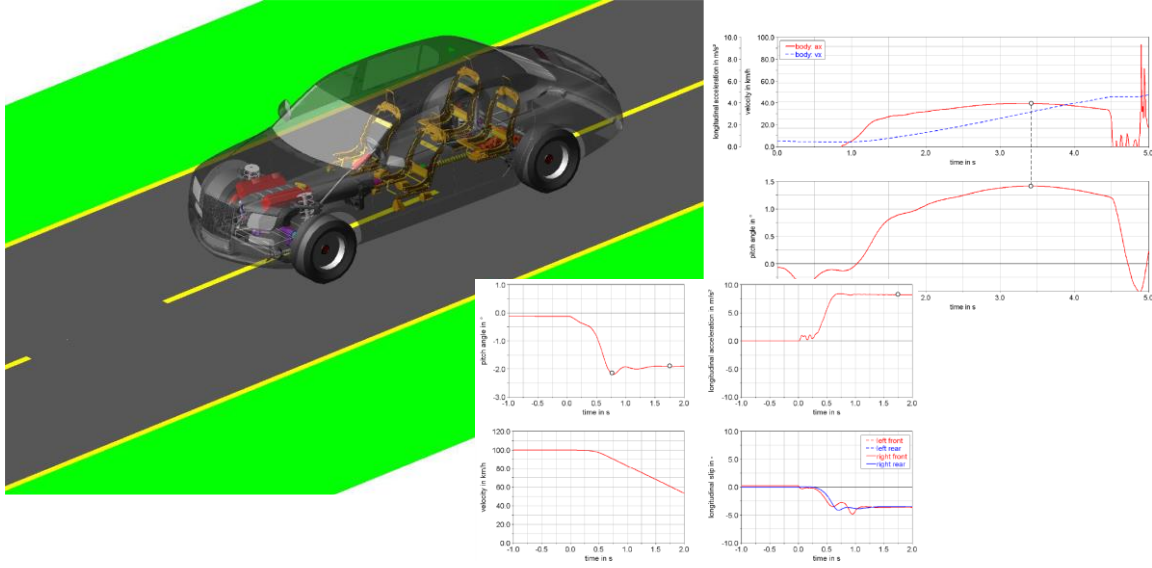
FFT: Fast Fourier Transform

API: Application Programming Interface

SBO: Surrogate Based Optimization

SÜSPANSİYON ELEMANLARININ SÜRÜŞE ETKİSİ

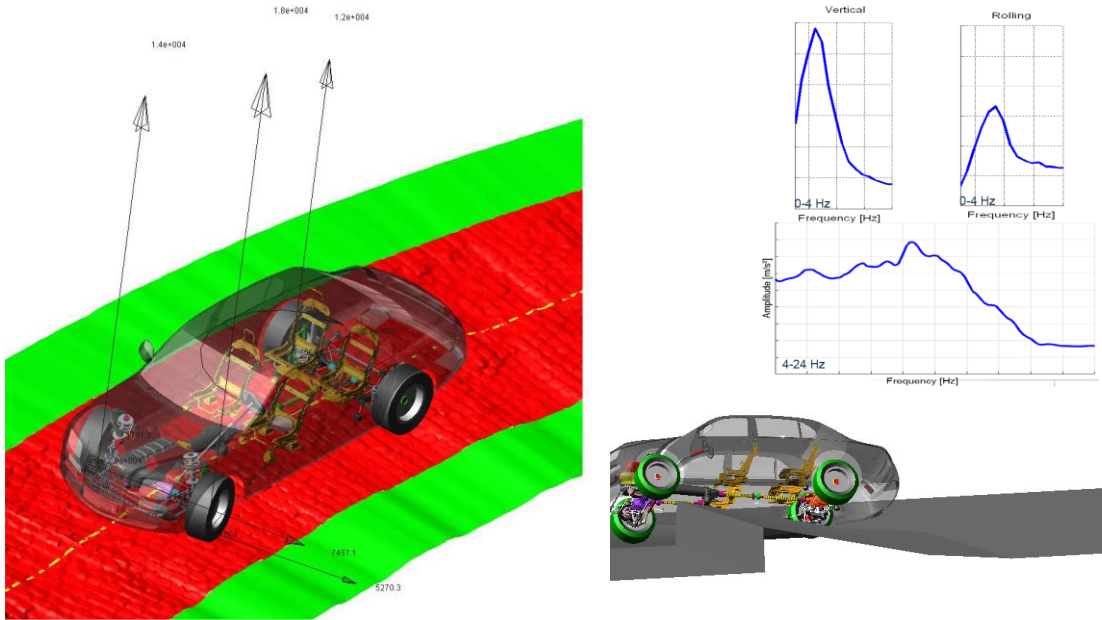
Kara taşıtlarında; araç yol tutuşu, viraj kabiliyeti ve konfor konularında, süspansiyon elemanlarının optimum tasarımı ve karakterizasyonu büyük bir öneme sahiptir. Günümüze kadar, mekanik anlamda birçok süspansiyon tasarımı test edilmiş ve araçlar üzerinde kullanılmıştır. Tasarımlardaki ana amaç maliyet-performans ilişkisini optimum seviyede tutmaktır. İlerleyen teknoloji ile süspansiyon tasarımı sırasında bu ilişkinin en optimum seviyeye getirilmesi aşamasında optimizasyon ve yapay zeka algoritmaları kullanılmaktadır. Sanal ortamda modellenen araç modelleri, yine sanal ortamda gerçekleştirilen analizler sayesinde tasarım verimliliğinin artırılması aşamasında büyük katkı sağlamaktadır. Bu çalışmada da Adams/Car üzerinde sanal olarak modellenen bir kara taşıtının damper performansının pSeven programı sayesinde performans optimizasyonunun nasıl yapıldığı anlatılacaktır.



FİĞÜR 1- ADAMS/CAR SANAL ARAÇ SİMÜLASYON MODELİ

ADAMS/CAR SANAL ARAÇ MODELİ

Adams/Car araç dinamiği alanında en çok tercih edilen sanal simülasyon programlarından birisidir. Her bir araç alt sistemi ayrı ayrı modellendikten sonra araç montajı gerçekleştirilebilmekte ve sanal pistler üzerinde tam araç simülasyonları gerçekleştirilebilmektedir. Sanal araç modelinin oluşturularak, ilgili fiziksel testlerin birebir aynısının sanal ortamda da gerçekleştirilmesi, aracın henüz tasarım aşamasındayken, süspansiyon performansı, kontrolcü parametreleri ve titreşim problemlerinin çözümlenmesi noktasında optimizasyon çalışmaları yapılabilmektedir.



FİĞÜR 2- SANAL ARAÇ MODELİ SİMÜLASYON ÖRNEKLERİ

Bu dokümanda, yolcuların konforunu ve yolda sorunsuz araç davranışını sağlamak için araç süspansiyon amortisörlerinin parametrik analizinin ve otomatik bir şekilde optimizasyonunun pSeven sayesinde nasıl sağlanacağı adım adım anlatılacaktır.

Bu otomasyon sonucunda hedeflenen amaçlar ise:

- Farklı araç sürüş modları için esnek simülasyon kurulumu ve pSeven-Adams/Car entegrasyonu
- Yolcu konforu için ön ve arka süspansiyon amortisör parametrelerinin tasarım alanının oluşturulması (Design Space Exploration)
- Çeşitli yol profillerinde amortisör parametreleri için tek ve çok amaçlı optimizasyon problemlerinin çözülmesi

ADAMS/CAR ARAÇ MODEL VE SİMÜLASYON İÇERİĞİ

Bu çalışmada Adams/Car içerisinde bulunan ve aşağıda ayrıntıları verilen araç kullanılmıştır:

- <acar_concept> database yolu içerisinde bulunan 'sedan_rwd' tam araç modeli
- Teker-yol kontak modeli: PAC2002
- Toplam Araç Ağırlığı: 1835 kg
- Yaylanamayan Kütle (Unsprung Mass): 313 kg

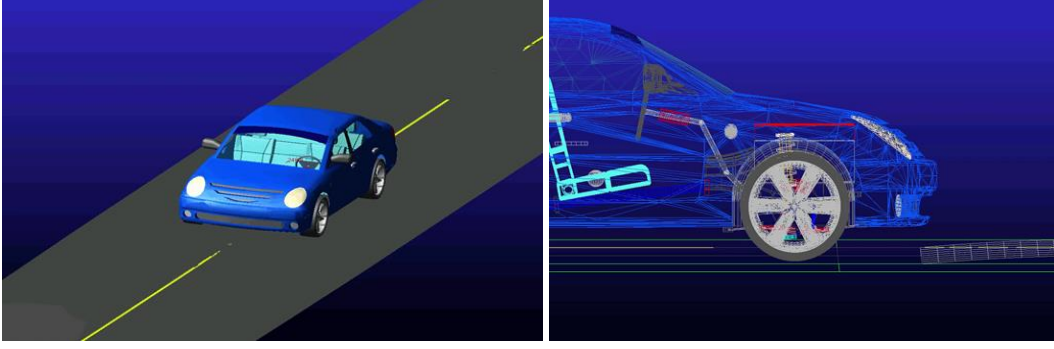
2 farklı sürüş senaryosu için otomasyon çalışması yapılmıştır:

- Rough Road
 - o 'Full Vehicle Analysis' – 'File Driven Events'
 - o Araç Hızı: 90 km/s (Sabit Hız)
 - o Simülasyon Süresi: 7 s
 - o Adım Aralığı: 0.01s (700 adım)
- Single Obstacle
 - o 'Full Vehicle Analysis' – 'Course Events' – '3D Road'
 - o Kısa – Orta – Uzun Engel

Bu liste iki ana senaryoyu ele almaktadır:

- Sabit koşullarda damperin temel çalışması,
- Temsili yol profili için ortalama performans.

Optimizasyon çalışmalarında senaryolar zenginleştirilebilir veya farklı kombinasyonlarda kullanılabilir.



FIGÜR 3- SİMÜLASYON SENARYOLARI – ROUGH ROAD (SOL), SINGLE OBSTACLE (SAĞ)

Araç manevra yeteneği, kalitesi ve stabilitesi için kriterler çeşitli şekillerde formüle edilebilir. Otomatik iş akışı, frekans alanındaki yer değiştirmeler, ivmeler, kuvvetler, enerji yoğunluğu dağılımları vb. değerlerine dayalı olarak herhangi bir kompleks çıktının formüle edilmesini sağlar.

Aşağıda belirtilen karakteristik çıktılar incelenmiştir:

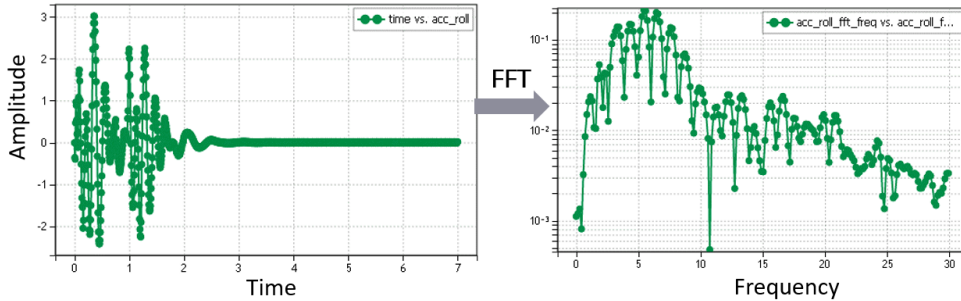
- Şasinin yan eksen Y (pitch) etrafında açısal hareketi ve ivmesi
- doğrusal eksen X (roll) etrafında şasinin açısal yer değiştirmesi ve hızlanması
- Z eksenı boyunca dikey şasi hareketi ve hızlanma

Sonuçların karşılaştırılması aşamasında RMS değerleri incelenmiştir:

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{T} \int f^2(t) dt}$$

Süspansiyonun gövdeye bağlanma noktasında direksiyon mafsalında dikey hızlanma, yolla temas noktasında normal kuvvetler, vb. incelenmiştir.

Her bir çıktı için, FFT uygulanarak; zaman $f(t)$ ve frekans $F(\omega)$ alanlarındaki genliğe bağımlılıklar, görsel kontrol için çıkartılmıştır.



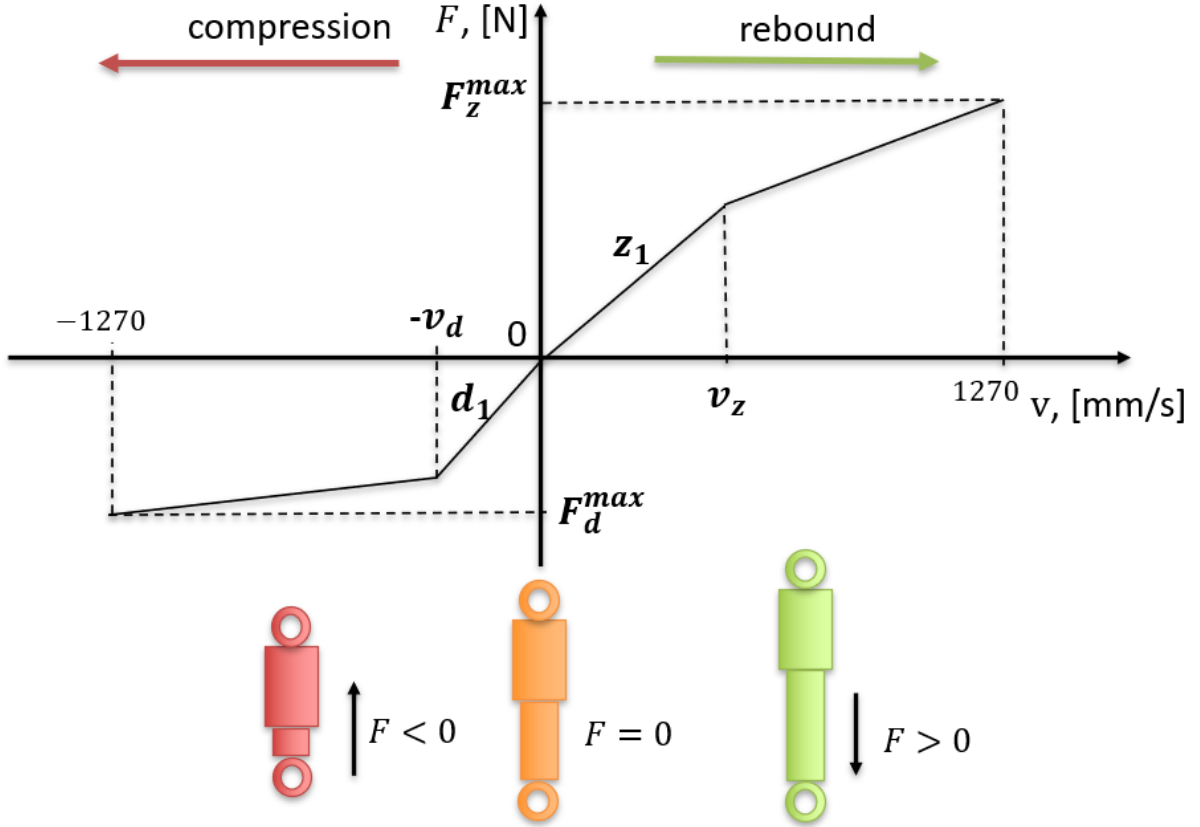
FIGÜR 4- ZAMAN VE FREKANS ALANLARINDA DOĞRUSAL 'X' EKSENİ (ROLL) ETRAFINDAKİ HIZLANMA

Değişken sönümlenme katsayısına sahip sönümleyici, compression / rebound reaksiyon kuvvetinin strok hızından bağımlılığının **piecewise linear curve** metodu ile tanımlanır.

Modelin girdi parametreleri, piecewise linear curve metoduna bağlı olarak oluşturulmuştur. Linear doğruların başlangıç ve bitiş noktaları değiştirilerek amortisör karakteristiği aşağıdaki gibi manipüle edilmiştir:

- z_1^x – Rebound linear piecewise eğimi
- d_1^x – Compression yönünde linear piecewise eğimi
- v_z^x – Rebound sırasında doğrunun bükülme noktası
- v_d^x – Compression sırasında doğrunun bükülme noktası
- F_{zmax}^x – Maksimum rebound amortisör kuvveti
- F_{dmax}^x – Maksimum compression amortisör kuvveti

Burada $x = r$ arka süspansiyonu $x = f$ ön süspansiyonu temsil etmektedir. Toplamda 12 parametre kullanılmıştır. Çeşitli süspansiyon davranışları elde etmek için parametrelerin geniş bir aralıkta değişmesine izin verilmiştir.

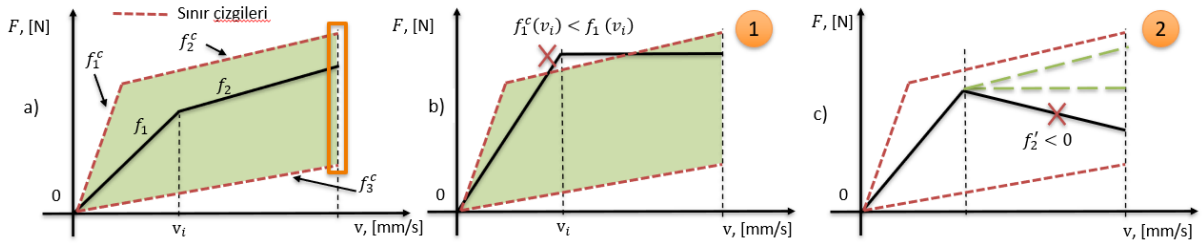


FIGÜR 5- SÜSPANSİYON AMORTİSÖRÜ REAKSİYON KUVVETİNİN STROK HIZINA BAĞIMLILIĞININ PARAMETRELEŞTİRİLMESİ

Amortisör imalatının teknolojik özelliklerinden dolayı yapılan bu çalışmada eğrinin aşağıda (FIGÜR-6) belirtilen aralıkta kalması gerekmektedir.

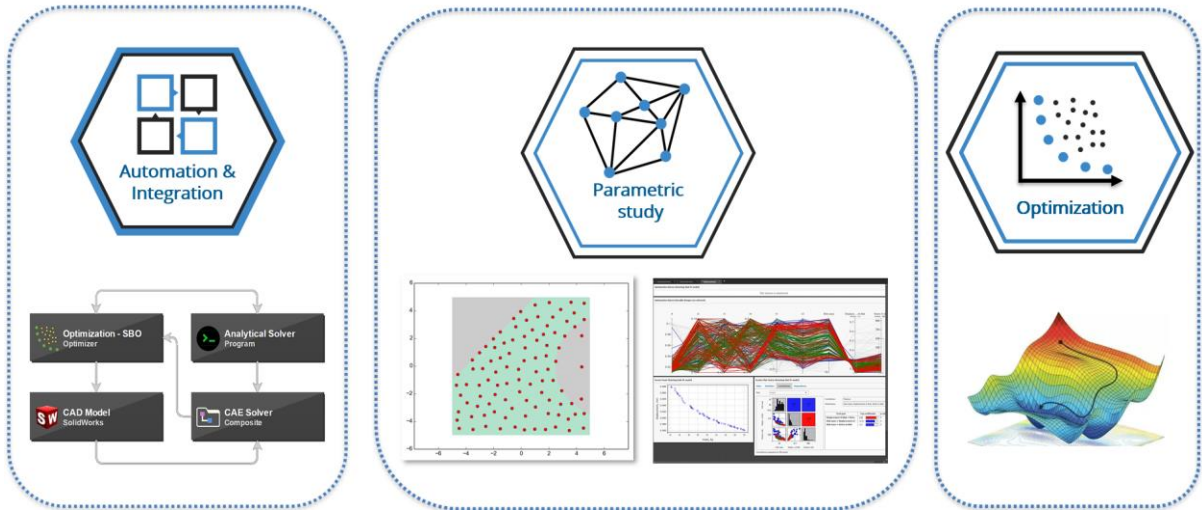
Parametre kombinasyonundaki kısıtlamalar:

- f_1^c, f_1^c and f_3^c kısıtlama olarak kullanılmıştır. Bu kısıtlamalar, geçerli bir parametre serisi ile karşılanmaktadır.
- Doğru, üst sınır çizgisinin ikinci bölümü ile kesilmemelidir. (FIGÜR-6 a,b)
 $f_1^c(v_i) > f_1(v_i)$
- İkinci doğrunun eğimi negatif olmamalıdır: $f_2' \geq 0$ (FIGÜR-6 c)



FIGÜR 6- A) DOĞRU SEGMENTİ SEMBOLLERİ, B, C) KISITLAMA İHMALLERİ

Optimizasyon probleminin çözümünde pSeven programı kullanılmıştır. İş akışı aşağıda temsil edilmiştir:



FIGÜR 7-PSEVEN İŞ AKIŞI GÖSTERİMİ

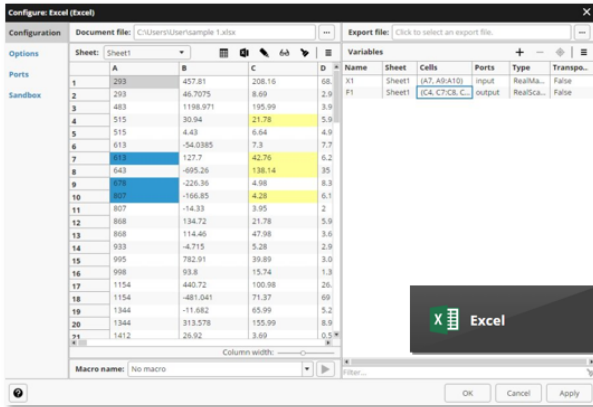
pSeven programı, multi fizik uygulamaların entegrasyonunu sağlayarak birbirleri ile ilişkili bir şekilde çalışmasına olanak sağlamaktadır. FIGÜR-7 de gösterilen ilk resimde pSeven içerisindeki iş akışı entegrasyonu gösterilmektedir.

pSeven içerisinde 3 tip entegrasyon bloğu bulunmaktadır:

- Doğrudan Entegrasyon Blokları: Belirli harici yazılımın yürütülmesini yönetmek için kullanılır ve kullanıcı dostu ara yüz sayesinde kurulumu kolaydır.
- Genel Entegrasyon Blokları: Herhangi bir programın komut satırı ara yüzünü kullanarak entegrasyona izin verir. Doğrudan entegrasyon bloklarından daha fazla esneklik sağlar, fakat genellikle bazı komut dosyası oluşturma veya manuel komut girişi gerektirir.
- Kullanıcı Bloğu: Simülasyon yazılımının API'si, giriş parametrelerini güncellemek ve çok çeşitli görevler için simülasyon sonuçlarını okumak için uygun yöntemler sağlıyorsa, bir kullanıcı kendi özel bloğunu oluşturabilir.

pSeven aşağıdaki programlar ile direkt entegrasyon sağlarken, Hexagon grubu uygulamaları ile birlikte, daha gelişmiş ve manipülasyonu kolay olan genel entegrasyon bloğu entegrasyonu sağlamaktadır:

- SolidWorks
- PTC CREO
- Siemens NX
- CATIA (beta)
- KOMPAS-3D
- ANSYS Workbench
- FloEFD
- STAR-CCM+ (beta)
- FMI models (beta)
- MS Excel



Engineering Tools Integration:



Direct CAD Integration:



Direct CAE Integration:



FIGÜR 8-PSEVEN DİREKT ENTEGRASYON ÖRNEKLERİ

Genel Entegrasyon Bloğu ise neredeyse bütün programların entegrasyonuna olanak sağlamaktadır:

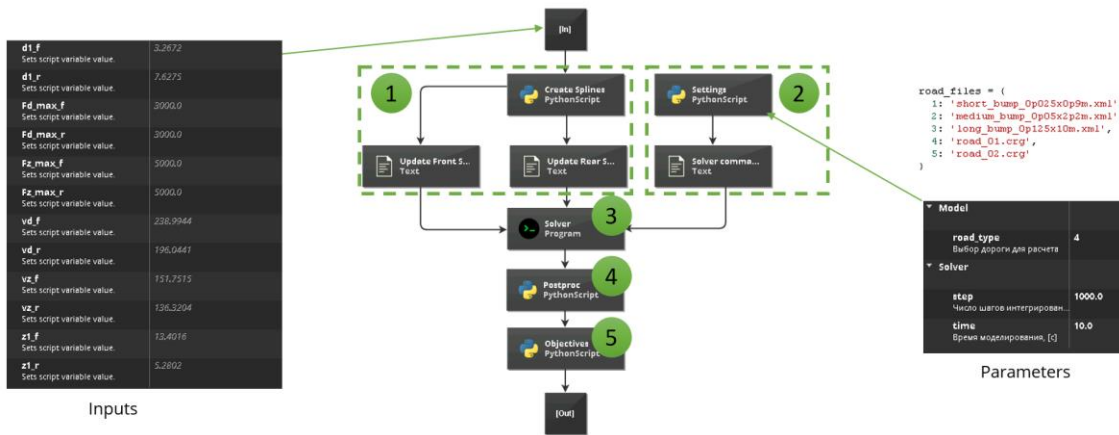


FİĞÜR 9-PSEVEN GENEL ENTEGRASYON BLOK ÖRNEĞİ

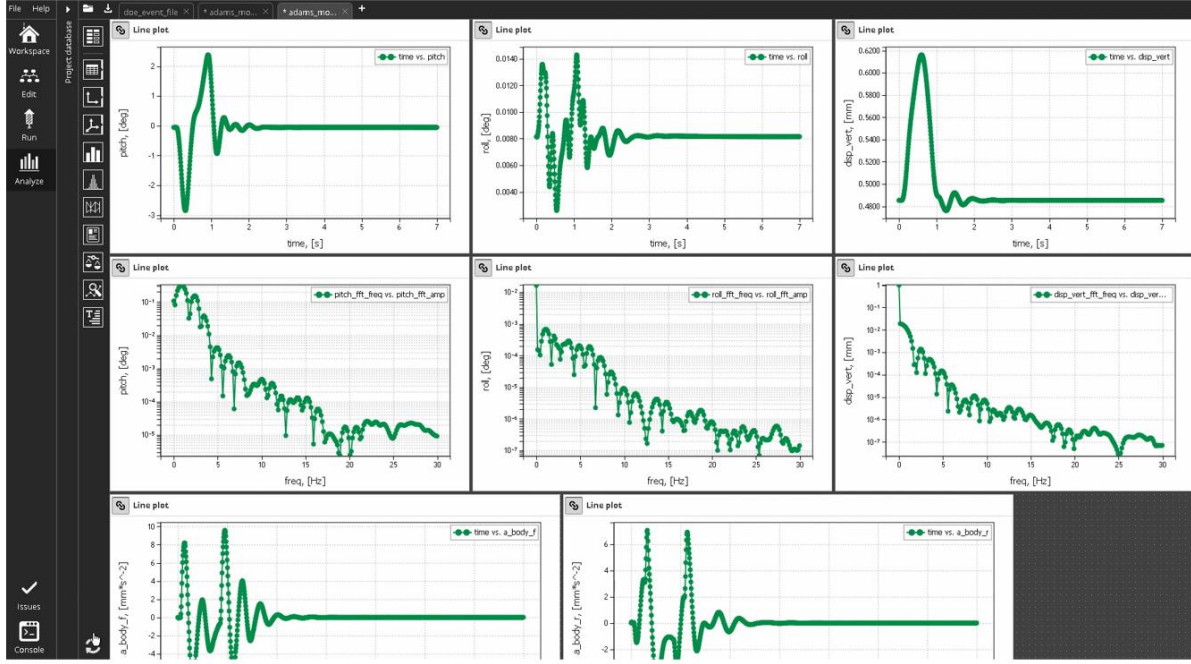
ADAMS – PSEVEN İŞ AKIŞININ SAĞLANMASI

İş akışı, ön işleme komutlarının, çözücü isteklerinin ve sonuçların sonradan işlenmesinin otomatik olarak yürütülmesi için Adams komut dilinin özelliklerini kullanır. Bu çalışmadaki iş akışı aşağıdaki metot ile kurulmuştur:

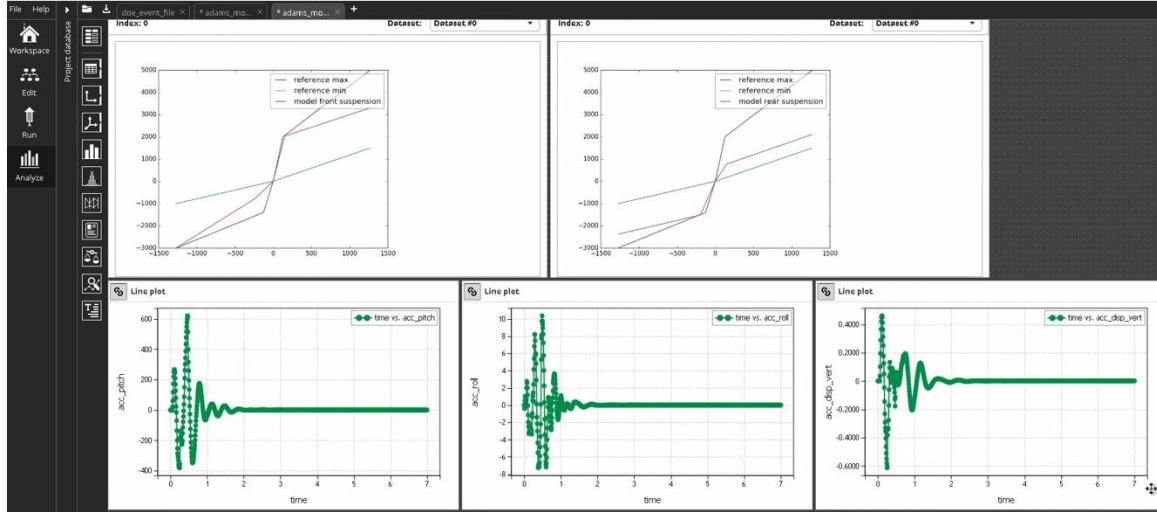
- Amortisör karakteristiğinin $F(v)$ güncellenmesi
- Adams model dosyası (cmd) içerisindeki parametrelerin güncellenmesi, simülasyon tipinin seçimi, solver ayarlarının girilmesi (adım Sayısı ve simülasyon süresinin ayarlanması)
- Adams komut dosyasının çalıştırılması ve son işlemcinin çağırılması
- Sonuç dosyalarının okunması
- Çıktı parametrelerinin hesaplanması: RMS, FFT vb.



FİĞÜR 10- ADAMS-PSEVEN İŞ AKIŞ ENTEGRASYONU



FIGÜR 11- ZAMAN VE FREKANS DÜZLEMİNE TAŞINAN SİMÜLASYON SONUÇLARI

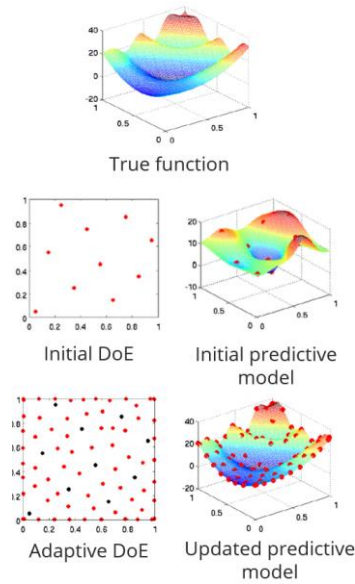


FIGÜR 12- AMORTİSÖR EĞRİSİNİN PSEVEN İLE ÇIKARTILMASI

Bu çalışmalar sırasında pSeven, DoE (Deney Tasarımı) çalışmalarında büyük bir kolaylık sağlamaktadır. Aşağıdaki metotlar çözüm sırasında kullanılabilir:

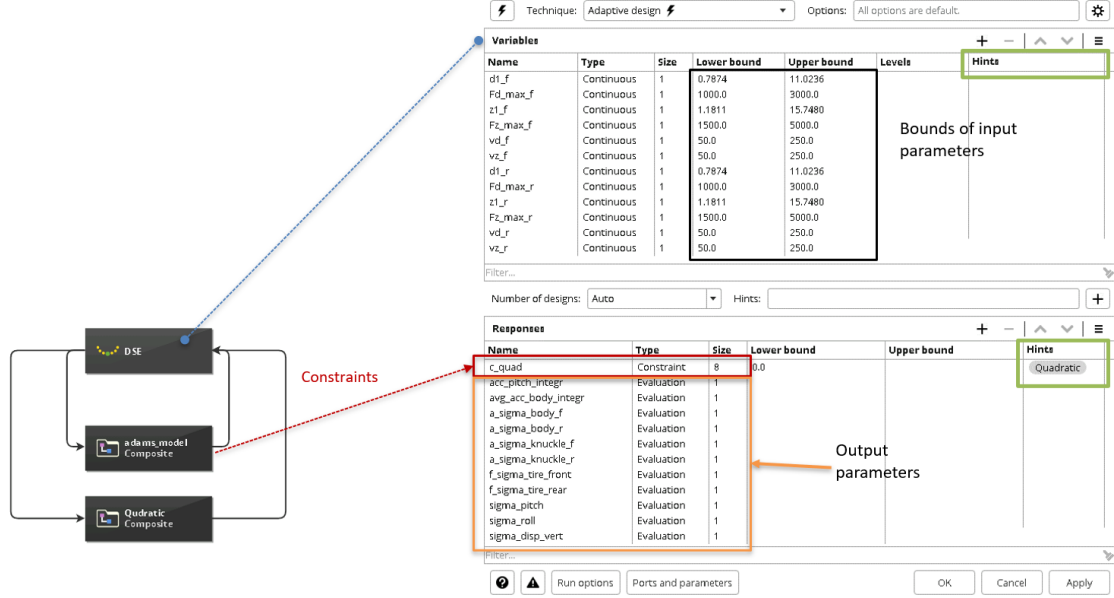
- Batch:
 - Latin Hypercube
 - Optimized Latin Hypercube
 - Full Factorial
 - Fractional Factorial
 - Parametric Study
 - Orthogonal Array
 - Box-Behnken Design
 - D-Optimality, I-Optimality
- Sequential:
 - Random Sampling
 - Halton Sequence
 - Sobol Sequence
 - Faure Sequence
- Adaptive:
 - Uniform
 - Maximum Variance
 - Integrated Mean Square Error Gain
 - Adaptive Design

'SmartSelection' seçeneği yukarıda belirtilen DoE tekniklerinin modele en uygun şekilde seçilmesini sağlamaktadır.



FIGÜR 12- PSEVEN SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu çalışmada SmartSelection kullanılmıştır ve verilen kısıtlamalar ve hesaplamaları referans olarak 'Adaptive Design' metodu otomatik olarak seçilmiştir. Adaptive Design metodu, sayısal model döngüsüne başlanılmadan önce ikinci dereceden kısıtlamaları geri yüklemeye izin verir. Bu, hesaplama süresi ve depolamasından önemli bir tasarruf sağlar.



Technique: Adaptive design Options: All options are default.

Name	Type	Size	Lower bound	Upper bound	Levels	Hints
d1_f	Continuous	1	0.7874	11.0236		
Fd_max_f	Continuous	1	1000.0	3000.0		
z1_f	Continuous	1	1.1811	15.7480		
Fz_max_f	Continuous	1	1500.0	5000.0		
vd_f	Continuous	1	50.0	250.0		
vz_f	Continuous	1	50.0	250.0		
d1_r	Continuous	1	0.7874	11.0236		
Fd_max_r	Continuous	1	1000.0	3000.0		
z1_r	Continuous	1	1.1811	15.7480		
Fz_max_r	Continuous	1	1500.0	5000.0		
vd_r	Continuous	1	50.0	250.0		
vz_r	Continuous	1	50.0	250.0		

Bounds of input parameters

Name	Type	Size	Lower bound	Upper bound	Levels	Hints
c_quad	Constraint	8	0.0			Quadratic
acc_pitch_integr	Evaluation	1				
avg_acc_body_integr	Evaluation	1				
a_sigma_body_f	Evaluation	1				
a_sigma_body_r	Evaluation	1				
a_sigma_knuccle_f	Evaluation	1				
a_sigma_knuccle_r	Evaluation	1				
f_sigma_tire_front	Evaluation	1				
f_sigma_tire_rear	Evaluation	1				
sigma_pitch	Evaluation	1				
sigma_roll	Evaluation	1				
sigma_disp_vert	Evaluation	1				

Output parameters

Number of designs: Auto Hints:
















Run options Ports and parameters OK Cancel Apply

FIGÜR 12- PSEVEN İŞ AKIŞI, GİRDİ, ÇIKTI VE SINIRLAYICI AYARLAMALARI

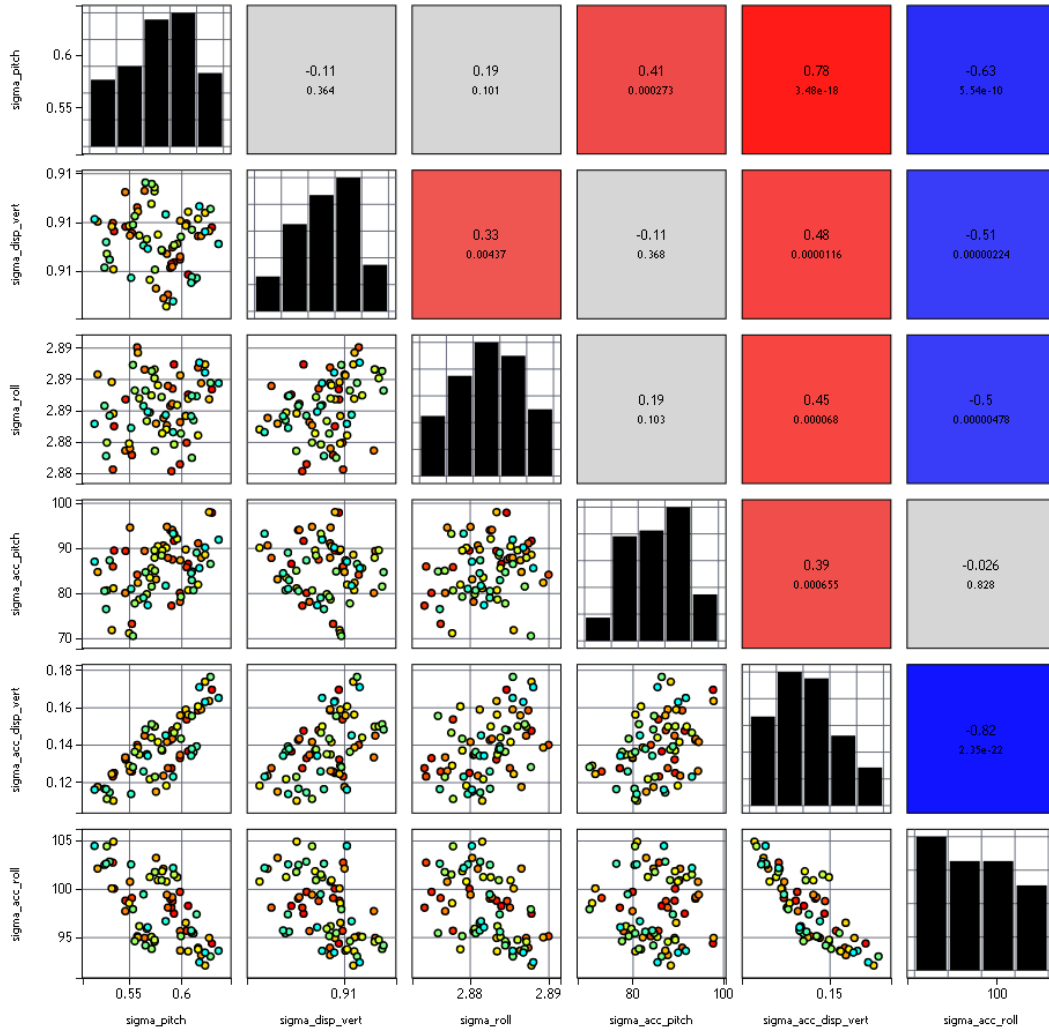
DENEY TASARIMI SONUÇLARI

Adaptive DoE oluşturulması sonucunda problemin kısıtlarını sağlayan 195 girdi parametresi elde edilmiştir.

Sonuçlar incelendiğinde, dikey ivmelenme RMS değeri ($\sigma_{acc_disp_vert}$) ve yanıl yuvarlanma ivmesi (σ_{acc_rol}) arasında ciddi anlamda ters ilişki olduğum gözlemlenmiştir.

Term pair	Top coefficients	p-value
$\sigma_{acc_disp_vert} \rightleftharpoons \sigma_{acc_rol}$	-0.82 	2.35e-22
$\sigma_{pitch} \rightleftharpoons \sigma_{acc_disp_vert}$	0.78 	3.48e-18
$\sigma_{pitch} \rightleftharpoons \sigma_{acc_rol}$	-0.63 	5.54e-10
$\sigma_{disp_vert} \rightleftharpoons \sigma_{acc_rol}$	-0.51 	0.00000224
$\sigma_{roll} \rightleftharpoons \sigma_{acc_rol}$	-0.5 	0.00000478
$\sigma_{disp_vert} \rightleftharpoons \sigma_{acc_disp_vert}$	0.48 	0.0000116
$\sigma_{roll} \rightleftharpoons \sigma_{acc_disp_vert}$	0.45 	0.000068
$\sigma_{pitch} \rightleftharpoons \sigma_{acc_pitch}$	0.41 	0.000273
$\sigma_{acc_pitch} \rightleftharpoons \sigma_{acc_disp_vert}$	0.39 	0.000655
$\sigma_{disp_vert} \rightleftharpoons \sigma_{roll}$	0.33 	0.00437
$\sigma_{pitch} \rightleftharpoons \sigma_{roll}$	0.19 	0.101
$\sigma_{roll} \rightleftharpoons \sigma_{acc_pitch}$	0.19 	0.103
$\sigma_{pitch} \rightleftharpoons \sigma_{disp_vert}$	-0.11 	0.364
$\sigma_{disp_vert} \rightleftharpoons \sigma_{acc_pitch}$	-0.11 	0.368
$\sigma_{acc_pitch} \rightleftharpoons \sigma_{acc_rol}$	-0.026 	0.828

FIGÜR 13- PSEVEN DOE PARAMETRE İLİŞKİLERİ #1



FIGÜR 14- PSEVEN DOE PARAMETRE İLİŞKİLERİ #2

OPTİMİZASYON ÇALIŞMALARI

pSeven, endüstride optimizasyon sorunlarının çoğu için kolay ve etkili bir çözüm sunmaktadır:

- 1 ya da daha fazla optimizasyon parametresi
- Çok boyutluluk
- Uzun Analizlerin üstesinden gelme (CAE)
- Devamlı ya da ayırık girdi
- Doğrusal olmayan, çok modlu ya da gürültülü optimizasyon ve kısıtlama parametresi belirleyebilme
- Örtük kısıtlamaların ve tanımsız davranış alanlarının varlığı
- Belirsizliklerin varlığı

Optimizasyon Çalışması için aşağıdaki entegrasyon kurulumu sağlanmıştır:

Parametreler: 12 Piecewise Linear Karakteristik Parametre

- Ön Süspansiyon: $z_1^f, F_{zmax}^f, d_1^f, F_{dmax}^f, v_z^f, v_d^f$;
- Arka Süspansiyon: $z_1^r, F_{zmax}^r, d_1^r, F_{dmax}^r, v_z^r, v_d^r$,

Sınırlayıcılar: 2. Derece (Quadratic) 8 sınırlayıcı

- Sınır koşulları için belirlenen sınırlayıcılar ile Piecewise Linear Karakteristik Parametrelerinin kesişmemesi gerekmektedir.

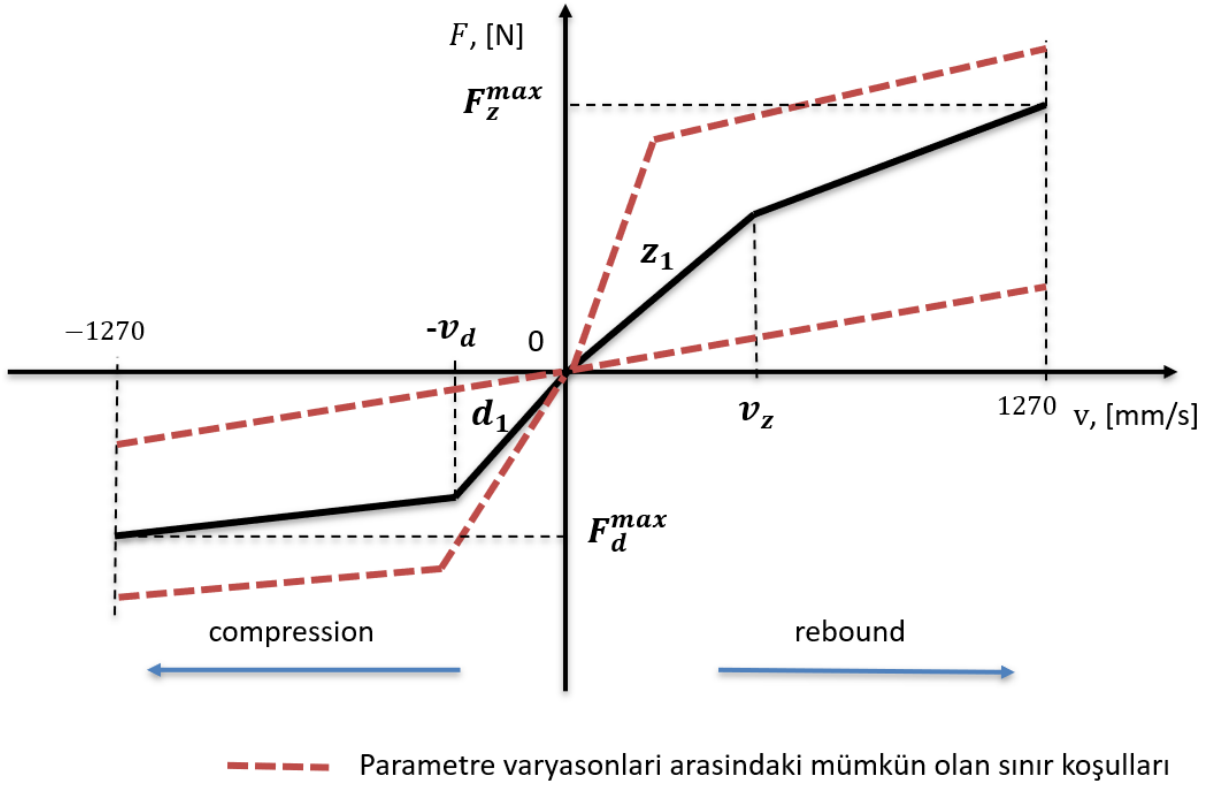
Optimizasyon (Hedef) Kriterleri: 2 Optimizasyon Kriteri

- Dikey yönde ivme dalgalanmalarını en aza indirme (**sigma_acc_disp_vert**)

$$\min_{X_{param} \in R^{12}} \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T a_{disp_vert}^2(t) dt}$$

- Doğrusal eksen (X) etrafındaki ivme dalgalanmalarının en aza indirilmesi (**sigma_acc_roll**)

$$\min_{X_{param} \in R^{12}} \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T a_{roll}^2(t) dt}$$



FIGÜR 15- SÜSPANSİYON AMORTİSÖRÜ OPTİMİZASYON ARALIK GRAFİĞİ

Optimizasyon Çalışması sırasında da 'SmartSelection' seçeneği seçilmiştir. Optimizasyon tekniği olarak 'Surrogate-base optimization (SBO)' kullanılmıştır. SBO çok kriterli optimizasyonlarda çözüm sayını minimuma indirerek tasarım uzayının genelini taranmasına olanak sağlamaktadır. Maksimum 600 iterasyon ile sınırlandırma yapılmıştır. Sınırlayıcı parametreleri amortisör karakteristiği üzerinden verilmiştir.

Model cevaplarının listesi, optimizasyon kriterleri arasında hızla geçiş yapmayı mümkün kılan amaç fonksiyonları (Tür-Minimizasyon) ve kısıtlamalar (Tip-Kısıtlama) ile birlikte diğer parametreleri (Tip-Değerlendirme) içermektedir.

Technique: Surrogate-based optimization Options: All options are default.

Variables						
Name	Type	Size	Lower bound	Upper bound	Levels	Hints
d1_f	Continuous	1	0.7874	11.0236		Value: 3.2672
Fd_max_f	Continuous	1	1000.0	3000.0		Value: 3000
z1_f	Continuous	1	1.1811	15.7480		Value: 13.4016
Fz_max_f	Continuous	1	1500.0	5000.0		Value: 5000
vd_f	Continuous	1	50.0	250.0		Value: 238.9944
vz_f	Continuous	1	50.0	250.0		Value: 151.7515
d1_r	Continuous	1	0.7874	11.0236		Value: 7.6275
Fd_max_r	Continuous	1	1000.0	3000.0		Value: 3000
z1_r	Continuous	1	1.1811	15.7480		Value: 5.2802
Fz_max_r	Continuous	1	1500.0	5000.0		Value: 5000
vd_r	Continuous	1	50.0	250.0		Value: 196.0441
vz_r	Continuous	1	50.0	250.0		Value: 136.3204

Filter...

Number of designs: 600 Hints:

Responses						
Name	Type	Size	Lower bound	Upper bound	Levels	Hints
c_quad	Constraint	8	0.0			Quadratic
a_sigma_body_f	Evaluation	1				
a_sigma_body_r	Evaluation	1				
a_sigma_knuckle_f	Evaluation	1				
a_sigma_knuckle_r	Evaluation	1				
f_sigma_tire_front	Evaluation	1				
f_sigma_tire_rear	Evaluation	1				
sigma_pitch	Evaluation	1				
sigma_roll	Evaluation	1				
sigma_disp_vert	Evaluation	1				
sigma_acc_pitch	Evaluation	1				
sigma_acc_roll	Evaluation	1				
sigma_acc_disp_vert	Minimization	1				
	Minimization	1				

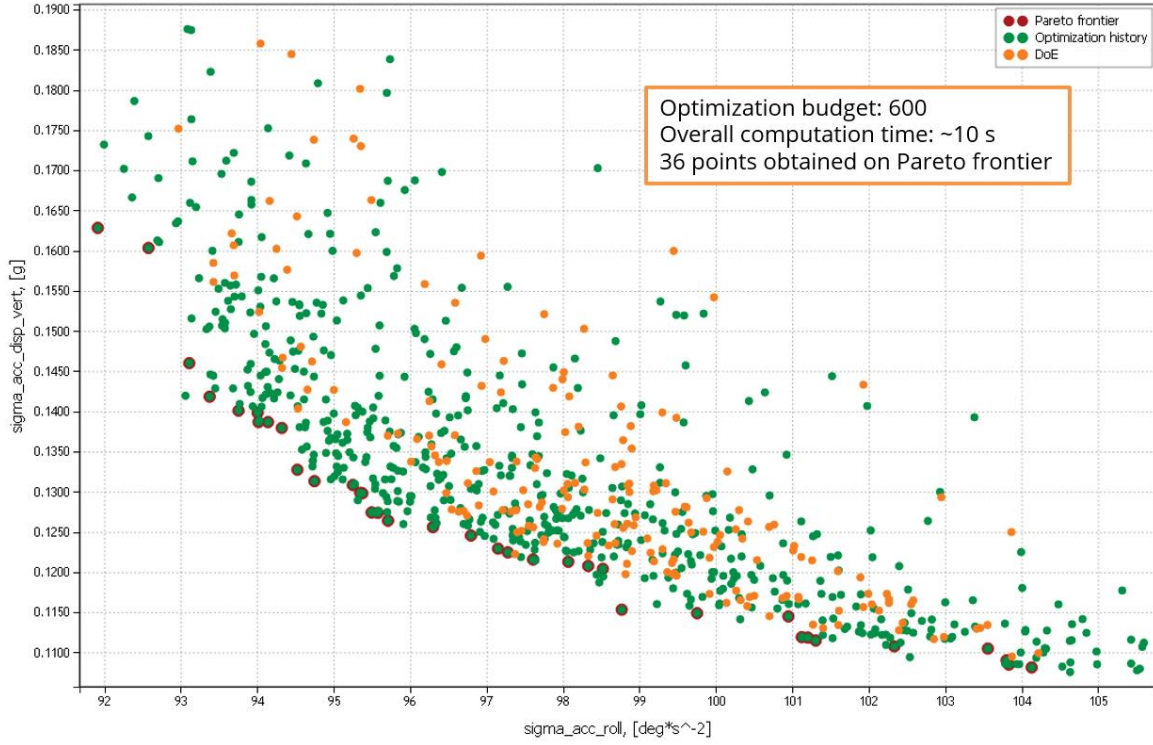
Design space exploration

FIGÜR 16- PSEVEN OPTİMİZASYON BLOK İÇERİĞİ

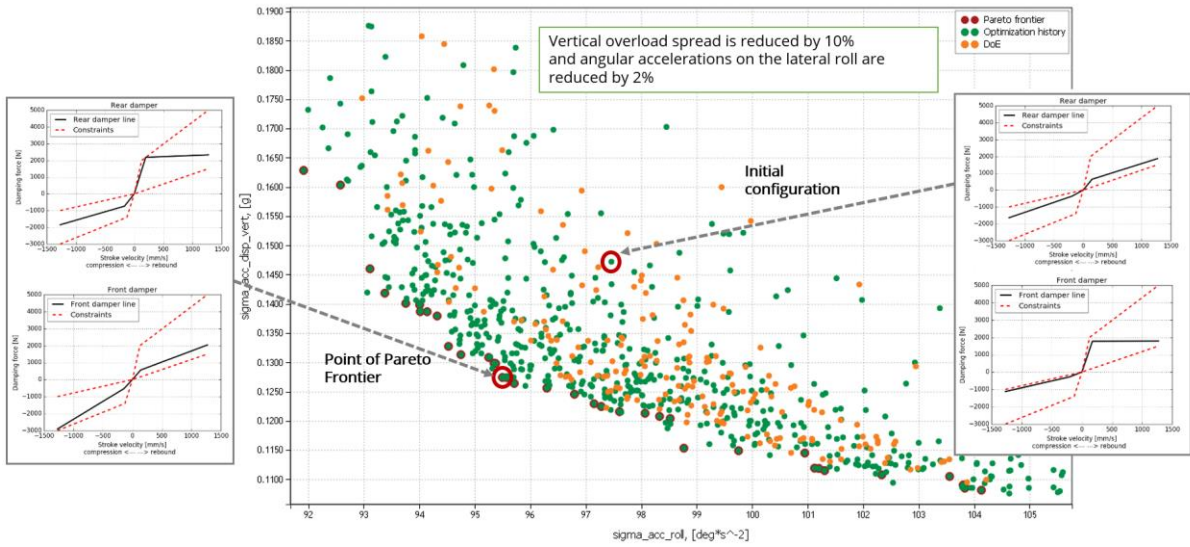
OPTİMİZASYON SONUÇLARI

Optimizasyon çalışmasının bir sonucu olarak, pareto diyagramı ve optimal çözüm dizisi elde edilmiştir. Bu noktadaki hedef fonksiyonlarının değerlerini karşılaştırırken, tüm kriterler için en uygun değeri bir kerede elde etmek imkansızdır: dikey ivmenin RMS'si azaldığında, yanal yuvarlanma ivmesinin RMS'si artar ve bunun tersi de geçerlidir.

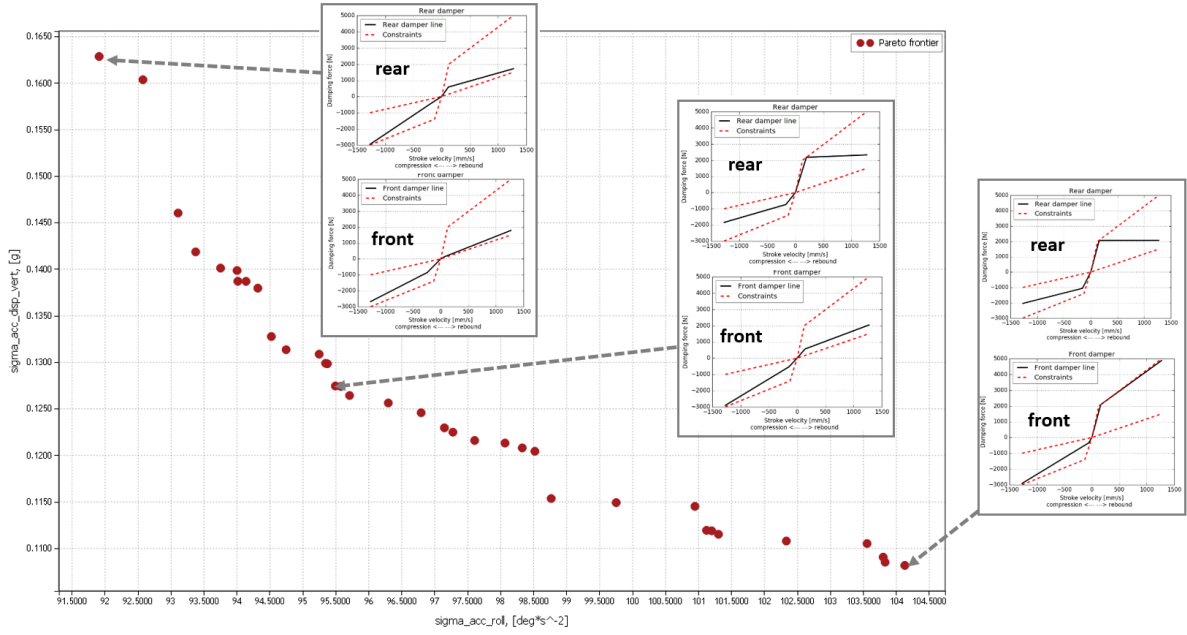
SBO algoritması, 600 yinelemede 36 Pareto-sınır noktası bulmuştur. Nokta başına yaklaşık olarak 20 yineleme yapmıştır.



FIGÜR 17- OPTİMİZASYON SONUÇ KARŞILAŞTIRMA DİAGRAMI



FIGÜR 18- BAŞLANGIÇ KONFIGÜRASYONU İLE PARETO DİAGRAMININ OPTİMAL NOKTALARININ KARŞILAŞTIRILMASI



FIGÜR 18- PARETO DİAGRAMI BOYUNCA ÖN VE ARKA AMORTİSÖR ÖZELLİKLERİNDE KALİTE DEĞİŞİKLİĞİ

SONUÇ

Bu çalışma içerisinde Adams/Car ile pSeven entegrasyonunun nasıl yapılacağı gösterilmiştir. Otomatikleştirilmiş iş akışları, çeşitli sürüş senaryoları ve kurulumları için simülasyon senaryolarının kolayca genişletilmesine olanak tanır. Kullanıcılar da bu sayede, uyarlanabilir süspansiyon sistemleri geliştirirken entegre bir metodoloji kullanarak birçok parametrik çalışmayı bir arada yürütebilir.

Çalışma sonucunda, Ön ve arka süspansiyonların amortisör özelliklerinin iki kriterli optimizasyonu gerçekleştirilmiş olup: aracın enine eksenine etrafındaki hızlanma dalgalanmalarının en aza indirilmesi ve dikey hızlanmadaki dalgalanmaların en aza indirilmesi sağlanmıştır.

Elde Edilen Pareto diagramı, çeşitli süspansiyon modifikasyonlarını değerlendirmeye ve optimal çözümler arasından en iyi çözümün seçilmesine olanak tanımaktadır.

SBO optimizasyon tekniği sayesinde minimum sayıda simülasyon gerçekleştirilmesi ile optimum çözüm elde edilir. Bu yaklaşım, kullanıcının hem tek hem de çok kriterli ifadelerle benzer sorunları hızlı bir şekilde çözmesini sağlar.

REFERANSLAR

- DATADVANCE – pSeven Core Documentation
- DATADVANCE – pSeven Webinar – Optimizing the Car Suspension Performance