

Matematik modelleme yardımıyla taşıt tasarımının analizi ve optimizasyonu

Ali GÖKŞENLİ*, Ali G. GÖKTAN

İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Programı, 34437, Güneşsuyu, İstanbul

Özet

Yeni taşıtın tasarlanması önemli olan aşama ana taşıt parametrelerinin belirlenmesidir. Bu parametreler taşıt özelliklerinin (emniyet, performans, seyir özellikleri...) ortaya çıkmasında etkili olmaktadır. Tasarımın başlangıç fazından itibaren amaç konstrüktif taşıt parametrelerinin taşıt özelliklerine etkilerini tanımak ya da en azından tahmin edebilmektir. Bir taşıttan birçok özelliği sağlanması istenmektedir. Ancak kaçınılmaz olarak birbirleriyle çelişen hedefler ortaya çıkmaktadır. Belirli özelliklerin iyileştirilmesi genellikle diğer bazı özelliklerden ödün vermeyi gerektirmektedir. Ne kadar çok istek sıralanırsa, çelişkiye düşme olasılığı da o kadar artmaktadır. Taşıt özelliklerinin istekler listesine uygun olarak tasarımın erken aşamalarında optimize edilmesi arzulanan bir durumdur. Böylece tasarım süresi kısılacak ve maliyetler azalacaktır. Çalışmada bu amaçla tasarımın erken aşamalarında taşıt parametrelerinde meydana gelecek değişiklikler sonucu taşıt özelliklerinin analiz ve optimizasyonu için bir matematik model oluşturulmuştur. Değişken sayısı bağıntı sayısından büyük olan model, yapısı gereği optimizasyon tekniklerinden yararlanılarak irdelenmiştir. Oluşturulan modelin kolay ve verimli bir şekilde kullanılabilmesi amacıyla bir program (ACANO) yazılmıştır. Programın yapısı gereği taşıt özellikleri veya parametrelerinde meydana gelecek değişim sonucu hedef özellik ve diğer özelliklerle birlikte taşıt parametrelerinde ne yönde bir etkileşim olabileceği konusunda tasarımcıya yol göstermektedir. Programın sahip olduğu ek analizler yardımıyla tasarlanacak taşıt aynı sınıf içerisinde yer alan farklı bir taşıt ile karşılaştırılabilecek, fayda değer ve zayıf nokta analizi ile konsept taşıtın zaafı tespit edilebilecek, özellik ayrıntı analizi ile her bir özelliğin ayrıntılı olarak analiz edilebilecek ve bazı taşıt parametreleri (özellikle seyir parametreleri) sayısal olarak ifade edilebilecektir.

Anahtar Kelimeler: Taşıt özellikleri, taşıt parametreleri, matematik model, optimizasyon, ACANO.

*Yazışmaların yapılacağı yazar: Ali GÖKŞENLİ. goksenli@itu.edu.tr; Tel: (212) 293 13 00 dahili: 2428.

Bu makale, birinci yazar tarafından İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Programı'nda tamamlanmış olan "Matematik modelleme yardımıyla taşıt tasarımının analizi ve optimizasyonu" adlı doktora tezinden hazırlanmıştır. Makale metni 24.06.2008 tarihinde dergiye ulaştı, 24.07.2008 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 31.07.2010 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir.

Analysis and optimization of vehicle design by using a mathematical model

Extended abstract

A new designed vehicle has to have a character which is describing itself. Factors forming the character of the car are its properties. Necessary modification has to be applied in the early design phases to achieve desired properties. But any re-design causes a feedback study in the design phase. The earlier these modifications are applied the shorter is the design phase and the lower are the costs invested for design. One of the most important method to reduce design and development time is to being able to analyze and optimize vehicle properties and being able to recognize the effects of the change of design parameters on properties even in early design phases. The optimization of vehicle properties such as comfort, economic, safety and performance form the most significant stage of the vehicle design. Nowadays, vehicles are expected to provide a lot of properties at the same time. But unfortunately, improving some properties is mostly resulted that other properties are affected in a negative way by this change. Parameters which form the properties of the vehicle can be changed in definite limits to keep some other properties in desired values. This kind of studies on this subject is forming an optimization problem. The common result which will be reached at the end of these researches is having a lot of alternative solutions due to the complex effects of vehicle properties with each other. Furthermore, if we examine vehicle properties, it is clear that there will be various solutions for each special goal. In other words it is clear that there can not be a unique reasonable solution for a vehicle design. Priority properties and rank of important of characteristics are being evaluated. These evaluations will be fruitful for us to determine which properties are much more essential in this stage. It is clear that, the more property the system has, the better solutions it will have. However, the properties which are increased by the wishes will raise the probability of having contradictory results with each other in the same proportion. These interactions form the contradictions which are often noticed between the properties.

The target of this study is to give some information about providing restrictions or improvements of varieties permitted in some properties and parameters by examining the items which are identified above. Moreover, serving solution approaches for vehicle

mathematical modeling in order to assist designers in decision by various probabilities. A model in which variable number is more than correlation number has been examined by utilizing optimization techniques due to its structure. Simplex method, which is widespread and effective among lots of techniques is used in the study.

A software (ACANO) is formed in order to use the model much more easily and effectively. This software can be used by designers and styling experts by the help of being user friendly and inter-actively. The basic property and other properties altogether guide designers about what kind of interaction can be in vehicle parameters because of the variety which is occurred in vehicle properties or parameters by its structure. ACANO consists of "Additional Analyze" modules; Use-Value-, Weak Spot analysis and Property Detail Analysis (to apply detailed analyses of a property), defining some vehicle parameters in numerical (especially driving parameters) and to compare a new designed vehicle with the properties of a different vehicle in the same segment. By the application example of the software ACANO, a concept vehicle called FUNNY, which is a city car, is introduced. Target function is chosen as "Fuel Economy", properties and design parameters are analyzed and determined in order to optimize target function in defined ranges. In two step analysis fuel economy and other characteristics are improved by using "Property Detail Analysis". Also vehicle parameters, especially driving parameters are defined numerical. Later weak points of the concept vehicle is determined using "Use-Value" and "Weak Spot" analysis. At least FUNNY is compared with a different vehicle in the same segment and advantages and disadvantages according to the compared vehicle is determined.

It is clear that solution approaches in which the model has been explained that is formed with correlations according to vehicle properties an parameters will be beneficial for people who decide since they will direct and guide people's intuitions. However, any mathematical method or technique can not take its place of the people who decide, yet it will assist them.

Keywords: *Vehicle characteristics, vehicle parameters, mathematical model, optimization, ACANO.*

Giriş

Yeni tasarlanan bir taşıtın bir karaktere sahip olması arzulanmaktadır. Taşıt karakterini oluşturan faktörler de onun sahip olduğu özelliklerdir. Bu özelliklerin istenilen değerler arasında olması için tasarımın ilk aşamalarından itibaren taşıt üzerinde gerekli değişiklikler gerçekleştirilmektedir. Ancak her bir değişiklik geriye dönük bir çalışmayı gerektirmektedir. Bu değişiklikler ne kadar tasarımın erken aşamalarında olursa, tasarım süresi o kadar kısalmakta ve maliyetler de azalmaktadır (Calabrese, 1999). Tasarım süresinin kısaltılmasının en önemli yöntemlerinden birisi taşıtın daha erken tasarım aşamalarında özelliklerinin analiz ve optimize edilebilmesi ve taşıt üzerinde gerçekleştirilecek konstrüktif değişiklikler sonucu taşıt özelliklerinin arzulanmış olduğu doğrultuda iyileştirilebilmesidir.

Taşıt özelliklerinin (konfor, emniyet, performans, ekonomik ...) optimizasyonu taşıt tasarımının en önemli aşamasını oluşturmaktadır (Braess, 2003). Günümüzde taşıtlardan giderek artan bir biçimde birçok özelliği sağlaması ve çok çeşitli fonksiyonları yerine getirmesi beklenmektedir. Fakat çoğu zaman bazı özelliklerin iyileştirilmesi, diğer bazı özelliklerin bu gelişmeden olumsuz yönde etkilenmesi ile sonuçlanmaktadır. Özellikleri şekillendiren parametrelerin ancak belirli sınırlar içinde değiştirilebilmeleri bazı özelliklerin korunabilmesi açısından şart olmakla birlikte, bu konu ile ilgili yapılan çalışmaları daha çok bir optimizasyon problemine yaklaştırmaktadır (Smith, 2002). Örneğin aks aralığı, seyir özellikleri ve seyir konforu ile ilgili kriterleri olumlu yönde etkilebilmeleri için mümkün olduğu kadar büyük olmalıdır. Ancak manevra yeteneğini de iyileştirebilmek için bu defa aks aralığının küçük seçmek gerekecektir. İvmelenme ve çekiş özellikleri açısından ise aks aralığının dolaylı bir etkisi görülmektedir. Önden tahrikli bir taşıtta aks aralığı büyük olduğunda, ivmelenme ve yokuş halindeki ön aks yükü azalması fazla olmamaktadır. Arkadan tahrik durumunda ise kısa aks aralığı aynı hallerde arka aks yükünü arttıracığından avantajlı olmaktadır (Gökten, 1992).

Aks aralığı gibi birçok parametre ele alınıp bu açıdan incelenebilir. Bu incelemeler sonucu va-

rılacak ortak sonuç; taşıt özelliklerinin birbirlerine olan çok karmaşık etkileri nedeniyle önümüze çıkacak birçok alternatif çözüm olacaktır. Ayrıca duruma taşıt özellikleri açısından bakıldığında her bir özel amaç için ayrı bir çözümün var olacağı, bir başka deyişle taşıt tasarımı için genel anlamda tek bir uygun çözümün var olmayacağı açıktır. Tasarım çalışması ile ulaşılmak istenen hedefler doğrultusunda belirlenen öncelikler ve önem sırası bu aşamada belirleyici olmaktadır (Smith 2002). Bu değerlendirmeler tasarım aşamasında hangi özelliklerin öne çıkacağı, hangilerinin ne oranda dikkate alınacağı sorularına yanıt olacaktır. Şüphesiz ki ne kadar çok özellik sisteme dahi edilirse, olaya bakış açısı da o oranda genişleyecektir. Fakat istekler neticesinde artan özellikler, birbirleriyle çelişen sonuçlar ortaya çıkması olasılığını da aynı oranda arttıracaktır. Gerçekten de bu etkileşimler özellikler arasında oldukça sık rastlanılmakta olan çelişkileri açığa çıkarmaktadır. Örneğin çevre ile transport performansı, emniyet ile ekonomi veya kullanılabilirlik ile ekonomi arasındaki çelişkiler taşıt için geçerli olmaktadır (Elmar ve Matthijs, 2004).

Bu çalışmanın amacı yukarıda belirtilen noktalar göz önünde tutularak, bazı özellikler ve parametrelerde izin verilen değişikliklerin ne tür kısıtlamalara veya iyileşmelere neden olacağı konusunda bilgi vermek, tasarımcıya çeşitli olasılıklar karşısında karar vermede yardımcı olmak amacıyla oluşturulan bir taşıt matematiksel modeline çözüm yaklaşımları sunmaktır.

Taşıt özellikleri ve parametreleri

Oluşturulan matematik model taşıt özellik ve parametrelerden oluşmaktadır. Taşıt özellikleri geniş bir yelpazede bulunmasından dolayı özellikler beş ana başlık altında incelenmiştir; Pasif emniyet, konfor, performans, seyir özellikleri, yakıt ekonomisi ve diğerleri. Belirtilen beş ana başlık altında toplam 29 adet taşıt özelliği incelenmiştir (Tablo 1).

Dikkat edilirse, "Yakıt tüketimi ve diğer özellikler" başlığı altında taşıt ağırlığı, ağırlık merkezinin konumu ve hava direnç katsayısı da bulunmaktadır. Bu parametreler taşıt özelliği ol-

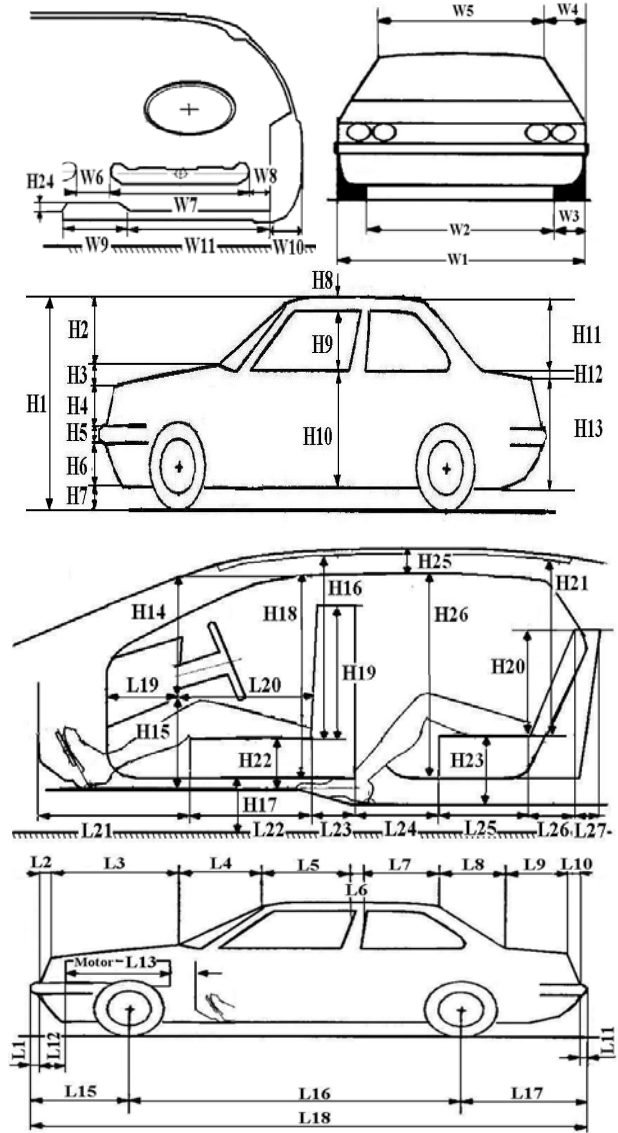
mamasına rağmen, taşıt özelliklerini direkt veya dolaylı olarak etkileyen büyüklükler olmasından dolayı birer taşıt özelliği olarak ele alınmıştır.

Tablo 1. Analiz edilen taşıt özellikleri

Temel özellik	Alt özellikler
<i>Pasif emniyet</i>	Ön pasif emniyet Yan pasif emniyet Yaya pasif emniyeti
<i>Konfor</i>	Ön koltuk konforu Arka koltuk konforu Önden inip-binme konforu Arkadan inip-binme konforu İç hacim Park etme konforu Bagaj hacmi
<i>Seyir özellikleri</i>	Dönemeçte seyir konforu Yaylanma Konforu Stabilite Fren stabilitesi Yan rüzgar duyarlılık direnç Manevra Kabiliyeti Slalom kabiliyeti Dönemeçte doğrultu koruma potansiyeli Devrilme sınırı
<i>Seyir performansı</i>	İvme kabiliyeti (0-80 km/h) İvme kabiliyeti (50-90km/h) İvme kabiliyeti (80-120 km/h) Maksimum hız
<i>Yakıt tüketimi ve diğer özellikler</i>	Yokuş çıkma kabiliyeti Yakıt ekonomisi (Şehir içi) Yakıt ekon. (Şehirlerarası) Hava direnç katsayısı Taşıt ağırlığı Taşıt ağırlığı Ağırlık merkezinin konumu (yatay-dikey)

Matematik modelin oluşturulmasında toplam 79 adet Taşıt Parametresi (TP) kullanılmıştır. TP'ler iki gruba ayrılarak sınıflandırılmıştır; Taşıt Konstrüktif Parametreleri (TKP) ve Taşıt Teknik Değişkenleri (TTD). TTD motor parametrelerinden (motor hacmi, motor gücü, tork, motor ağırlığı), şanzıman çevrim oranlarından ve ön-arka tekerlek diyagonal hareket katsayılarından oluşmaktadır. TKP ise taşıtın dış ve iç

geometrik ölçümlerinden oluşmaktadır ve toplam 65 adettir (Şekil 1).



Şekil 1. Taşıt konstrüktif parametreleri

Matematik model oluşturma yöntemleri

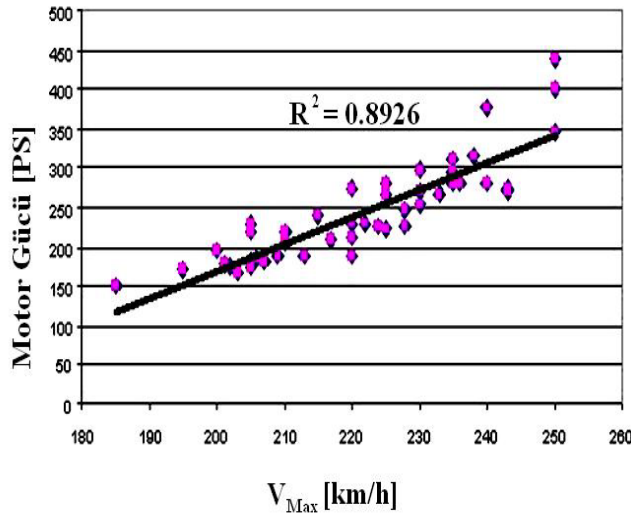
Taşıt özellikleri ile parametreleri arasındaki ilişkiyi ve etkileşim derecesini tespit etmek amacıyla değişik model oluşturma yöntemlerine başvurulmuştur (Svobodny, 1998) (Tablo 2).

Taşıt parametreleri ve özellikleri arasındaki ilişkiyi tespit etmek amacıyla model oluşturma yöntemlerinden *İstatiksel analiz* bölümünde pazarda mevcut 174 adet farklı taşıt analiz edil-

miştir. Analiz sonucu bazı parametreler ile özellikler arasında ilişki tespit edilebilmiştir (örneğin motor gücü ile maksimum hız arasında) (Şekil 2).

Tablo 2: Matematik model oluşturma yöntemleri

Üst model	Alt model
İç matematik modeller	-Dinamik modeller -Geometri/ ağırlık modelleri -Termal analiz
Dış matematik modeller	-Sonlu elemanlar analizi -Dinamik model simülasyonu -Deneysel sonuçlar -Literatür taraması
Deneyim	-Taşıt verilerin değerlendirilmesi
İstatiksel analiz	-Pazardaki mevcut taşıtların analizi



Şekil 2. Motor gücü ile maksimum hız arasındaki ilişki

Taşıt karoserisinin hava direnç katsayısına (c_w) etkisini analiz etmek amacıyla *bilgisayar destekli akışkan simülasyon yöntemlerinden* faydalanılmıştır (Green, 1999). Şekil 3'te L8, L9 ve H9 parametrelerinin c_w 'ye etkisi görülmektedir.

Taşıtın seyir özelliklerini tespit etmek amacıyla çoğunlukla *iç matematik modelleme* yöntemleri kullanılmıştır. Aktif emniyet açısından arzulan seyir esnasında sürücü acil durumlarda taşıtı kontrol edebilmesidir. Bu amaçla taşıtın yüksek direksiyon duyarlılığına ve manevra kabiliyetine (MAN) sahip olması istenmektedir. Bu sebepten

dolayı taşıtın yüksek direksiyon cevabı sönüm faktörü (v_f) ve düşük direksiyon cevap süresine ($T_{\psi_{max}}$) sahip olması arzulanmaktadır (Mitschke, (1995) (Şekil 4). Bu iki ifadeyi tanımlayan denklemler 1 ve 2'de belirtilmiştir (Zomotor, 1987):

$$v_f^2 = \frac{C_{\alpha\delta} \cdot C_{\alpha A} \cdot L16}{J_z \cdot m \cdot V} \cdot \left(1 + \frac{V^2}{V_{CH}^2}\right) \quad (1)$$

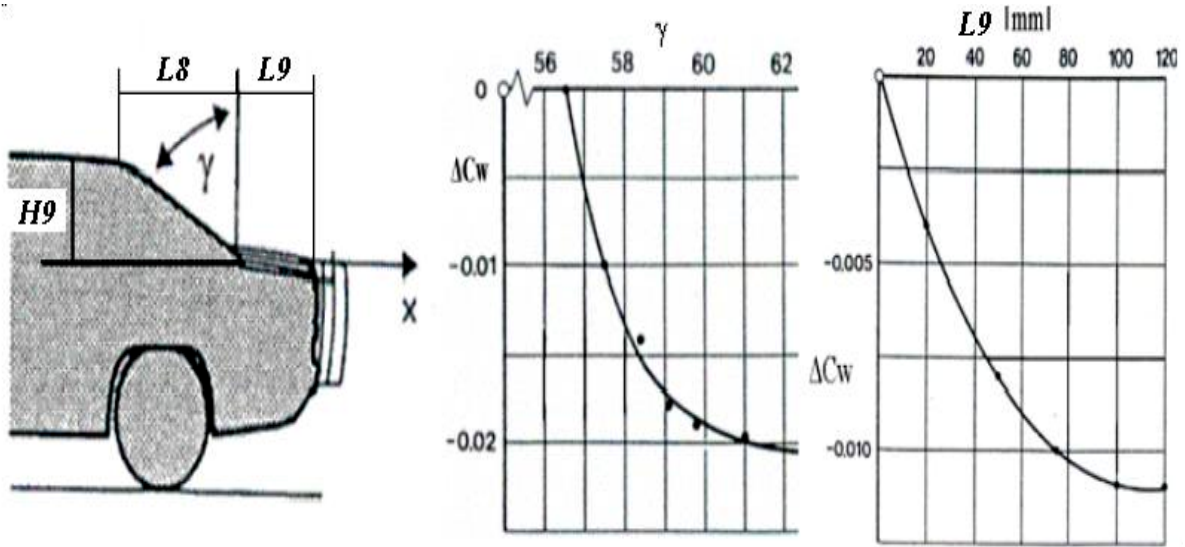
$$T_{\psi_{MAKS}} \approx \frac{1}{4} \left(\frac{2\pi}{v_{fd}}\right) \quad (2)$$

(1) ve (2) no.lu denklemlerin analizi sonucu MAN nin etkileşim değeri (% olarak) (3) no'lu denklemde ifade edilmiştir;

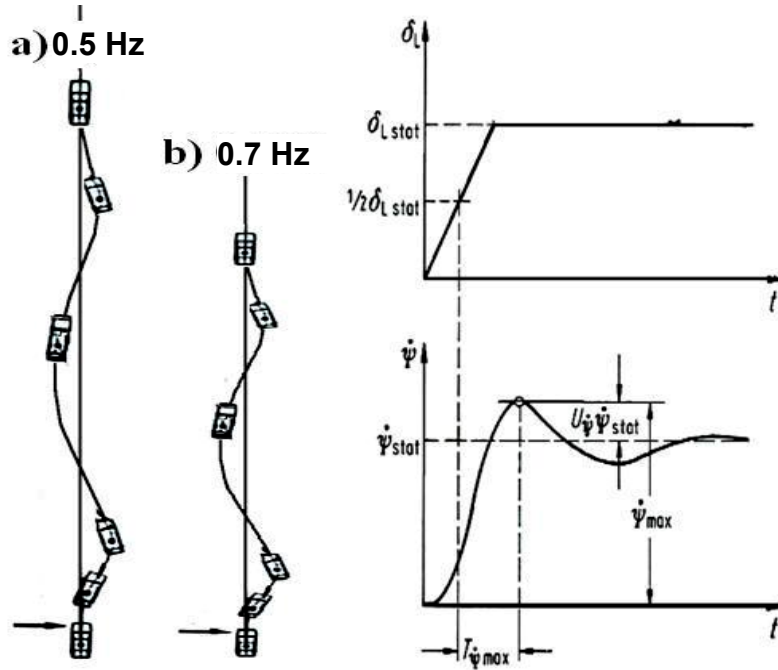
$$\frac{dMAN}{MAN} = \frac{Ca \cdot (L16 - l_0)}{Ca \cdot C\delta \cdot L16^2 - C\delta^2 \cdot l_0 + Ca \cdot C\delta \cdot (L16 - l_0)} \cdot dC\delta - \frac{C\delta \cdot l_0}{\frac{Ca \cdot C\delta \cdot L16^2}{V^2 \cdot G} - Ca \cdot (L16 - l_0) - Ca \cdot C\delta \cdot l_0} \cdot dCa + \frac{22,22}{W2 + W3} \cdot dW3 + \frac{22,22}{W2 + W3} \cdot dW2 - \frac{1}{\left\{G + \frac{Ca \cdot C\delta \cdot L16^2}{[V^2 (Ca \cdot L16 - l_0 (Ca + C\delta))]\right\}} \cdot dG \quad (3)$$

Ca arka, Cö ön tekerlek diyagonal hareket katsayısını, l_0 ağırlık merkezinin ön aksa mesafesini L16 aks aralığını, W2 ve W3 iz ve taşıt genişliklerini, G ise taşıt ağırlığını temsil etmektedir.

Pasif yaya emniyetini oluşturmak için yaya-taşı kazası esnasında yayanın yaralanmasında etkili olan yaya kinematiği ve yaralanma kriterleri esas alınmıştır. Bu tip kazalarda çarpışma kinematiği oldukça karmaşıktır. Bunun nedeni insan vücudunun eklemlerden ve kaslardan oluşan kompleks bir yapıya sahip olması ve çarpışma esnasında yaya kinematiğinin yayanın boyu, yaşı, taşıt ön geometrisi ve hızı gibi birçok parametrelerden etkilenmesidir. Günümüzde yayada meydana gelen yaralanmalar ve kırılmaların tespit edilmesi amacıyla kadavralardan ve hastane raporlarından faydalanılarak oluşturulmuş değişik bilgisayar modelleri kullanılmaktadır. Çalışmada bu tip modellerin yardımıyla taşıt pa-



Şekil 3. Taşıt arka geometrisinin hava direnç katsayısına etkisi



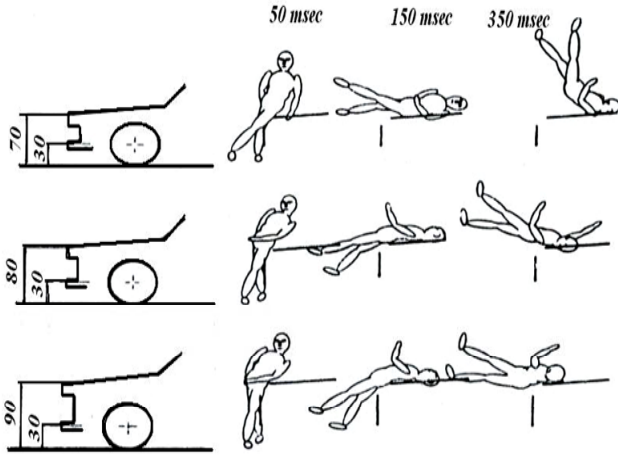
Şekil 4. Cevabı sönüm faktörü ($\nu_{\dot{\psi}}$) ve direksiyon cevap süresinin ($T_{\dot{\psi}_{max}}$) tanımı

rametrelerin değişiminin yaya yaralanmaları üzerindeki etkileri incelenmiştir (Liu ve Jang, 2002) (Şekil 5).

Optimizasyon ve ek analizler

Oluşturulan matematik model Taşıt Özelliklerinden (TÖ) ve Taşıt Parametrelerinden (TP) oluşmaktadır. Modelin özelliği, ilişkilerin lineer (doğrusal) denklemlerinden oluşmasıdır. Mode-

lin analizinde sorulan temel soru: “Seçilen taşıt özellik değerinin maksimum değeri alabilmesi için TÖ ve TP değerleri belirtilen sınırlar içerisinde nasıl değişmelidir?” Seçilen özelliğe “Hedef Özellik” (HÖ) ismi verilmiştir. Değişken sayısı bağıntı sayısından büyük olan model, yapısı gereği optimizasyon tekniklerinden yararlanılarak irdelenmiştir. Birçok teknik arasında en yaygın ve etkili olan Simpleks algoritması kullanılmıştır (Dantzig, 1997).



Şekil 5. Taşıt ön yüksekliğinin artmasıyla yaya kinematikiindeki değişim

Taşıt tasarım analizinin sağlıklı bir şekilde uygulanabilmesi için programda optimizasyon işlemi dışında iki adet analiz bölümü bulunmaktadır; *Özellik ayrıştırma analizi ve konsept taşıtın farklı bir taşıtla karşılaştırılması. Özellik ayrıştırma analizinde* her bir özelliğin analizi sonucu elde ettiği değerde hangi parametrenin ne kadar etkili olduğu gösterilmektedir. Bu sayede ilgili özelliğin değerini arttırmak için hangi parametrenin ne kadarlık değişime izin verilebileceği tespit edilebilmektedir. ACANO programının avantajlarından birisi de *konsept taşıtın aynı segmentte farklı bir taşıt ile karşılaştırılabilmesidir*. Böylece tasarladığımız taşıtın aynı segmentteki farklı bir taşıta göre avantaj ve dezavantajları tespit edilebilecek ve gerekli düzeltmeler daha erken tasarım aşamalarında gerçekleştirilebilecektir.

Matematik model uygulama metodolojisi ve ACANO

Modelin sağlıklı bir şekilde kullanılabilmesi amacıyla bir program oluşturulmuştur. Tasarımcının veya dizayn uzmanının kolaylıkla kullanabilmesi amacıyla Visual Basic programı kullanılarak oluşturulan ana menü, doğrusal ve doğrusal olmayan programlama problemlerinin çözümünde yaygın olarak kullanılan ve etkili bir paket program olan (Linear, Interactive, and Discrete Optimizer) ile etkileşim içerisinde çalışmaktadır. Ara yüz ile birleştirilen iki programın oluşturduğu yazılıma ACANO (Automobile Characteristics ANalyzer and Optimizer) ismi verilmiştir.

ACANO programı yardımıyla analiz ve optimizasyon işleminin nasıl gerçekleştirdiğini göstermek amacıyla ACANO programının çalışma sistematiki tanımlanmıştır. İlk aşama olarak 29 adet özellikten biri seçilmektedir. Bu seçilen özelliğe “Hedef Özellik” denmektedir. Seçilen hedef özellikte amaç bu özellik değerinin en yüksek seviyeye çıkartılması, başka bir deyişle değerinin maksimize edilmesidir. Hedef özelliğin tespit edilmesinden sonra taşıtın 79 adet parametreleri girilmektedir. Bir sonraki aşamada geriye kalan 28 adet özelliklerden hangilerinin değişimine yüzde olarak izin verdiğimiz belirtilmektedir. Daha sonra değişmesine izin verdiğimiz özelliklerin hangi değerler arasında değişimine izin verdiğimiz (alt ve üst limitler) belirtilmektedir. Aynı şekilde önceden değerlerini belirtilen 79 adet taşıt parametrelerinden hangilerinin değişmesine ve izin verilen parametrelerin hangi değerler arasında değişimine izin verdiğimiz (alt ve üst limit değerleri) yazılmaktadır.

Belirtilen çalışmalar uygulandıktan sonra problemin çözülmesi için gerekli komut verilmektedir. Bu aşamada çözüm olarak iki alternatif bulunmaktadır. Problem ya çözülmekte, ya da çözülememektedir.

Eğer problemin çözümü yoksa belirtilen sınırlamalar doğrultusunda bir çözümün olmadığını program uyarmakta ve alt-üst limit değerlerinin tekrar düzenlenmesi doğrultusunda uyarılmaktadır. Çözüm olmamasının nedeni çözüm uzayında verilen kısıtlar doğrultusunda çözüm bölgesinin olmamasıdır. Problemin çözümü varsa program kullanıcıya çözümü sunmakta ve çözümün tatminkar olup olmadığını sormaktadır. Eğer tatminkar ise optimizasyon işlemi tamamlanmıştır, eğer tatminkar değil ise program, ek analiz uygulamak isteyip istemediğini kullanıcıya sormaktadır. Kullanıcı eğer ek analiz uygulamak istiyorsa analiz yöntemlerinden birini seçmektedir. Ek analiz uygulamak istemiyorsa, problem çözümünün analizi sonucu program kullanıcıyı herhangi bir şekilde değişiklik yapmak isteyip istemediğini sormaktadır. Bu değişiklikler;

- Hedef özelliğin değiştirilmesi

- ▶ Özellik ve/veya parametrelerin alt-üst limit değerlerin değiştirilmesi,
- ▶ Değişimine izin verilmeyen özellik ve/veya parametrelerin değişimine izin vermek ve bunların da alt – üst limit değerlerini belirtmek,
- ▶ Değişmesine izin verdiğimiz özellik ve/veya parametrelerin değişimine izin vermemek,
- ▶ Gerçekleştirilen ilk analizler sonucu tasarımda değişikliğe gitmek, böylece konstrüktif parametrelerinin değiştirilmesiyle yeniden analizin uygulanması.

Buraya kadar açıklanan “ACANO Program Çalışma Sistematiği” aşamaları özetle Şekil 6’da belirtilmiştir.

ACANO programı tasarımın ilk aşamalarında stilistçiler tarafından kullanılması düşünülmektedir. Program yardımıyla gerçekleştirilecek analizin ilk aşamasında kullanıcı taşıt parametrelerini belirtmesi gerekmektedir. Ancak bazı taşıt parametrelerinin belirtilmesinde kullanıcı güçlük çekebilmektedir. Bunun birkaç sebebi olabilmektedir; stilistçinin tasarlanacak taşıt hakkında yeterli teknik bilgiye sahip olmamasıdır ki bu da çoğunlukla mühendislik tabanlı bir formasyona sahip olmaması veya kendisine tasarlanacak taşıt hakkında yeterli teknik bilgi (örneğin motor ağırlığı, vites çevrim oranları) verilmemiş olması veya bazı parametrelerin ancak tasarımın ileriki aşamalarında tespit edilebilmesidir. (Örneğin tekerlek diyagonal hareket katsayıları). Bu noktada ACANO devreye girmekte ve kullanıcının bazı teknik taşıt parametrelerinin (TP) tespit edilmesinde yardımcı olmaktadır. Bu TP’ler şunlardır;

- Maksimum hız
- Ön ve arka diyagonal hareket katsayısı
- Motor ağırlığı
- Şanzıman çevrim oranları

Kullanıcı eğer bu parametrelerin değerini biliyorsa veri olarak kendisi girebilmekte veya bu parametrelerin program tarafından tespit edilmesi için yardım isteyebilmektedir.

Matematik model uygulama örneği

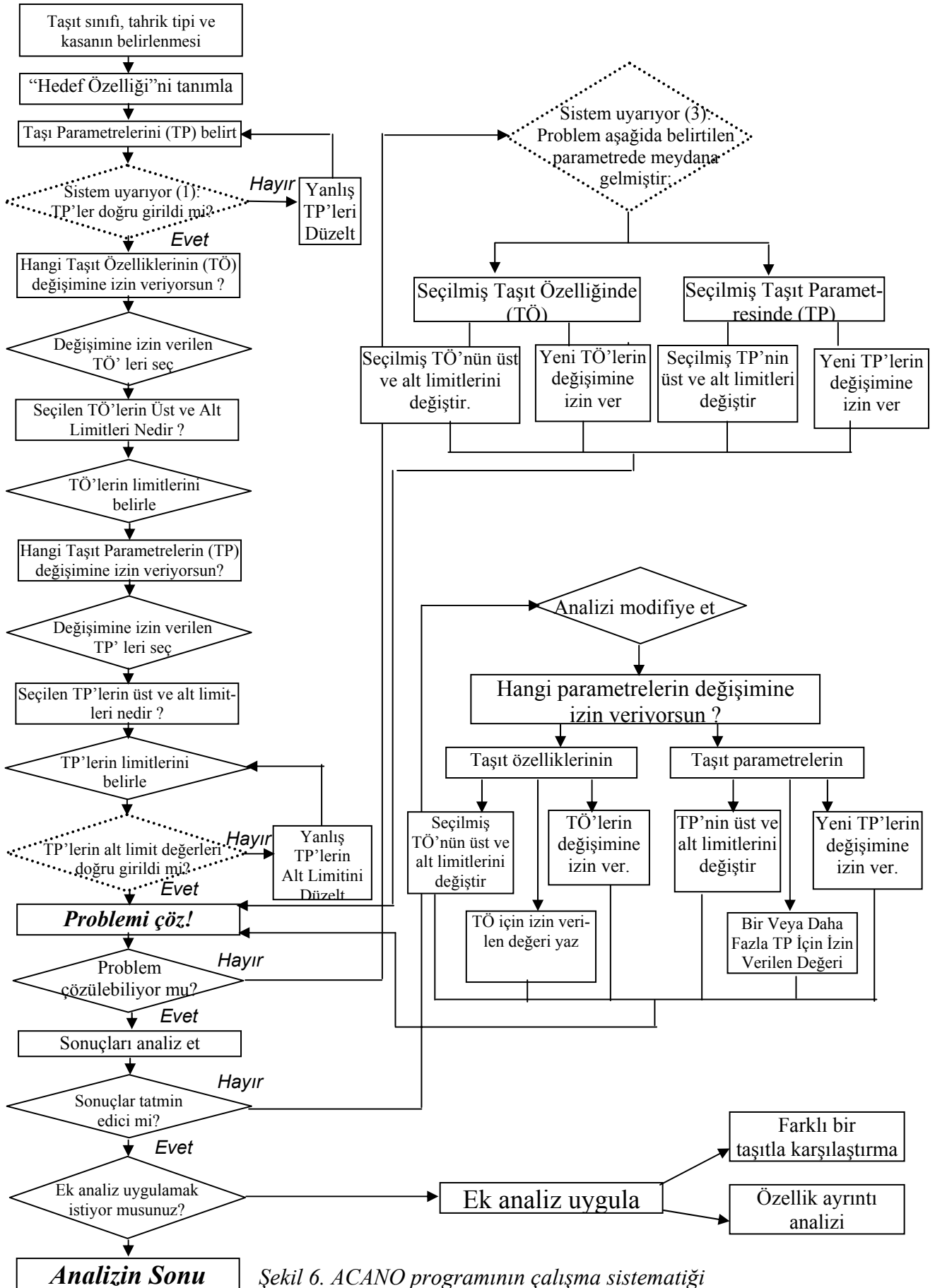
ACANO programının uygulama örneğinde FUNNY olarak adlandırdığımız konsept taşıtın şehir içi kullanıma uygun olarak tasarlanacaktır. Henüz dizayn aşamasında olan ve küçük sınıf (City Car) sınıfında olacak olan konsept taşıtın sahip olması gereken temel özellikler şu şekilde sıralanmaktadır:

- Düşük yakıt tüketimi.
- Boyutlarının küçük olması. (Özellikle şehir içinde park etme kolaylığı ve yüksek manevra kabiliyeti açısından).
- Küçük sınıf segmentinde olmasına rağmen yüksek emniyet. (Özellikle pasif emniyet).
- Yüksek konfor (Ergonomik açıdan – düşük boyutlarına rağmen).
- Geniş bagaj hacmi.
- Önden tahrikli ve hatchback kasa tipi.

FUNNY taşıtı için hedef kitlenin tespitinde mevcut sınıftaki diğer taşıtlar ele alınmıştır. Pazar analizi sonucu hedef kitle olarak gençler (18-26 yaş arası) ve bayan sürücüler olarak tespit edilmiştir. Özellikle bayan sürücüler dikkate alınarak park konforu ve ergonomi kriterleri, genç sürücüler açısından da yakıt tüketim özellikleri önem kazanmaktadır.

Analizin ilk aşamasında konsept taşıtın konstrüktif parametreleri, motor ve şanzıman parametreleri belirtilmiştir. Daha sonra hedef özellik olarak “Şehir içi yakıt ekonomisi” ele alınmıştır. Bu özelliğin ele alınmasının nedeni, taşıtın bulunduğu segment olan küçük sınıfta yakıt tüketiminin önemli bir satın alma kriteri olmasıdır. Hedef fonksiyonun tespit edilmesinden sonra diğer özelliklerin ve parametrelerin alt ve üst sınır değerleri tespit edilmiştir. Analizin ilk aşamasında sınır değerleri oldukça geniş tutulmuştur. Bunun sebebi ilk analiz sonuçlarının belirtilen sınırlamalar doğrultusunda herhangi bir çözümün mevcut olup olmadığının tespit edilmesidir. Aşırı dar sınırlamaların belirtilmesi sonucu çözüm uzayında optimum çözüm olmayabilmektedir.

İlk analiz sonucu “Şehir içi yakıt ekonomisi” %13.88 gibi oldukça tatminkar bir değerde artmıştır. Şehirlerarası yakıt tüketimi de %8.22 ora-



Şekil 6. ACANO programının çalışma sistematigi

nında artmıştır. Ancak bu olumlu değerler karşılığında taşıtın diğer özellikleri olumsuz yönde gelişmiştir (Tablo 3):

- Özellikle pasif emniyet değerleri oldukça düşmüştür.
- Konfor değerlerinde bir iyileşmeye rastlanmamıştır.
- Seyir özellikleri değerlerinde fazla bir değişikliğe rastlanmamıştır.
- Taşıt performansında oldukça fazla bir düşüş meydana gelmiştir. (Özellikle ivmelenme kabiliyeti).

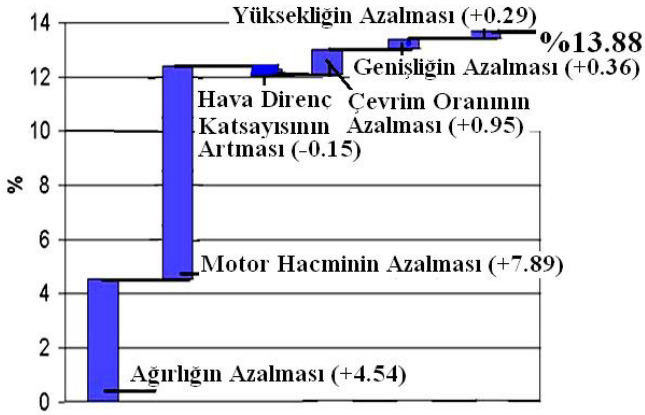
Tablo 3'teki analiz sonuçları dikkate alınarak analizin ikinci aşamasında "Özellik Etki Analizi" çalışması uygulanmıştır. Özellik olarak "Şehir içi yakıt ekonomisi" ele alınmıştır. Bu özelliği etkileyen parametreler ve etkileme dereceleri incelenmiştir (Şekil 7).

Şekil 7'de görüldüğü gibi yakıt ekonomisini etkileyen en önemli parametre motor hacmidir (%7.89). Yani %13.88'lik yakıt tasarrufun %7.89'i motor hacminin azaltılmasıyla sağlanmaktadır. Taşıtın ana karoseri boyutlarını veren taşıt genişliği ve yüksekliğinin azaltılmasıyla elde edilen yakıt ekonomisi sadece %0.65'dir. Oysa bu ana karoseri boyutlarının pasif emniyet ve konfor üzerinde büyük etkileri bulunmaktadır. Bu amaçla taşıt ana karoseri boyutlarının arttırılmasıyla elde edilecek yakıt ekonomisinde azalmaya karşın emniyet ve konfor kriterleri oldukça iyileşecektir. Bu sebeple taşıt ana karoseri boyutlarının azalmasına değil sadece artmasına izin verilecek şekilde taşıt parametrelerinin alt-üst limit değerleri tekrar düzenlenmiştir. Bu düzeltmelere ek olarak da taşıt özellikleri, özellikle konfor ve emniyet özelliklerinin iyileştirilmesi yönünde alt-üst limit değerleri tekrar düzenlenmiştir. Gerçekleştirilen düzenlemeler sonucu ACANO programındaki analiz sonuçları Tablo 3'te görülmektedir. Tablo 3'ün incelenmesi sonucu şu sonuçlara varılmıştır:

- Şehir içi yakıt tüketimi ilk analiz değerine göre azalma göstermiştir (%13.25'den %8.48'e inmiştir).

Tablo 3. 1. ve 2. analiz sonuçları (% değişim)

Taşıt özelliği	1. Analiz	2. Analiz
İvmelenme (0-80)	-13.09	-14.96
İvmelenme (50-90)	-14.31	-15.95
İvmelenme (80-120)	-15.43	-18.77
Vmax	-2.13	-3.52
Yakıt eko. (ş. içi)	13.88	8.48
Yakıt eko. (ş. arası)	8.22	3.01
Yokuş	-6.71	-14.96
Ön koltuk konforu	0.81	9.76
Arka koltuk konforu	1.47	6.16
Önden inip-binme	-0.78	8.56
Arkadan inip-binme	0.25	3.71
İç hacim	-1.43	11.62
Park etme	14.32	2.92
Bagaj hacmi	-3.44	3.81
Yaylanma konforu	-1.28	1.61
İç gürültü konforu	-1.771	-1.12
Dönemeçte seyir k.	-0.84	-1.51
Cw [değer]	0.0039	0.00095
Ağırlık (kg)	-43.73	9.46
Pasif (yan)	-7.23	6.72
Pasif (ön)	-16.84	11.23
Pasif (yaya)	-2.36	1.42
Pasif (motor)	-2.16	1.54
Algılama (ön)	-0.5	3.74
Algılama (arka)	-1.85	2.99
Stabilite	2.65	-3.41
Fren stabilitesi	2.66	8.28
Az dönerlilik karakt.	-2.21	-2.23
Yan rüzgar duy.	7.36	1.96
Devrilme sınırı	-1.11	0.58
Yalpa açısı	-7.25	1.48
Ön aks yük tr.	-6.7	-2.02
Arka aks yük tr.	-1.84	1.77
Taşıt dönme duyarlılığı	2.49	2.57
Slalom kabiliyeti	1.12	-9.83
Dönemeçte doğr. kor.	-4.86	-6.56
Ağ. merk. (yatay)-mm	9.69	31.89
Ağ. merk. (dikey)-mm	6.82	-0.54



Şekil 7. Şehir içi yakıt tüketiminin %13.88 azalmasında etkili olan parametreler

- Konfor özelliklerinde oldukça iyileşmeler gözlenmiştir.
- Özellikle pasif emniyet değerleri tatmin edici değerlere ulaşmıştır.
- Ağırlık merkezinin ilk analize göre yaklaşık 32 mm taşıtın arkasına doğru kaymasından dolayı slalom kabiliyeti ve stabilite değerlerinde azalma görülmüştür.
- Hava direnc katsayısında iyileşme görülmektedir (0.004 artış yerine sadece 0.00095 değerlik bir artış).
- Performans özelliklerinde kısmi olarak önceki analize göre azalma görülmüştür.
- Taşıt ağırlığı ilk analizde 43.7 kg azalırken ikinci analizde 9.5 kg'lık bir artış göstermektedir.
- Bagaj hacmi %3.81 oranında artmıştır.

Tablo 4'te taşıt ağırlığının 9.46 kg artmasına neden olan parametreler ve değerleri belirtilmiştir.

Tablo 4. Taşıt ağırlığının 9.46 kg artmasında etkili olan parametreler

Parametre	kg
Taşıt genişliğinin artması	+8.44
Taşıt yüksekliğinin artması	+7.58
Taşıt uzunluğunun artması	+6.44
Motor ağırlığının azalması	-13
TOPLAM	9.46

Bir sonraki aşamada FUNNY taşıtı aynı segmentte mevcut bir taşıt ile karşılaştırılmıştır.

Örnek taşıt olarak Opel Corsa alınmıştır. İlk aşamada Opel Corsa'nın konstrüktif, motor ve şanzıman parametreleri girilmiştir. Daha sonra FUNNY taşıtın parametreleri belirtilmiştir. "KARŞILAŞTIRMA" komutunun kullanılması sonucu iki taşıtın özelliklerinin karşılaştırıldığı analiz sonuçları tablo 5 de görülmektedir.

Tablo 5'in analizi sonucu FUNNY konsept taşıtımızın aynı segmentten olan Opel Corsa ile karşılaştırıldığında yakıt ekonomisi ve konfor özellikleri açısından üstünlük sağladığı, performans ve bazı seyir özellikleri açısından ise yetersiz kaldığı görülmektedir.

Sonuçlar

Günümüzde otomobil üreticilerinin hedefi, taşıt tasarım süresini azaltmaktır. Tasarım süresinin azaltmasının yollarından en önemlisi, taşıtın daha erken tasarım aşamalarında özelliklerinin analiz ve optimize edilebilmesi ve tasarımın erken aşamalarında taşıt üzerinde gerçekleştirilecek konstrüktif değişiklikler sonucu taşıt özelliklerinin arzuladığımız doğrultuda iyileştirilebilmesidir. Fakat çoğu zaman bazı özelliklerin iyileştirilmesi, diğer bazı özelliklerin bu gelişmeden olumsuz yönde etkilenmesi ile sonuçlanmaktadır. Bir optimizasyon problemi olan bu yaklaşımı çözmek amacıyla bir matematik model oluşturulmuştur. Farklı matematik model oluşturma tekniklerinden faydalanılarak oluşturulan ve değişken sayısı bağıntı sayısından büyük olan model, yapısı gereği optimizasyon tekniklerinden yararlanılarak irdelenmiştir. Birçok teknik arasında en yaygın ve etkili olan Simpleks algoritması kullanılmıştır. Oluşturulan modelin kolay ve verimli bir şekilde kullanılabilmesi amacıyla bir program (ACANO) yazılmıştır.

ACANO programı, şehir içi kullanımı için düşünülmüş küçük sınıf bir hayali taşıt olan FUNNY'nin özelliklerinin ve parametrelerinin "Şehir içi yakıt ekonomisinin arttırılması" doğrultusunda nasıl değişebileceği şeklinde tanıtılmıştır. İki aşamalı analiz sonucu şehir içi yakıt ekonomisi %8.48 oranında azaltılmıştır. Ayrıca arzulanan diğer özelliklerde de (konfor ve emniyette) iyileşme görülmüştür. Performans krite-

ri ise izin verdiğimiz sınırlar içerisinde azalmıştır. Özellik ayrıtı analizi yardımıyla hedef fonksiyon olan “Şehir içi yakıt tüketiminin azaltılması” özelliğini etkileyen parametreler incelenmiş ve bu doğrultuda ikinci aşamada düzeltmeler gerçekleştirilmiştir. Taşıt tasarımında önemli bir parametre olan taşıt ağırlığı da ele alınmış ve taşıt ağırlığının 9.46 kg artmasına neden olan parametreler ve değerleri belirtilmiştir. Son olarak FUNNY taşıtı sınıfında farklı bir taşıt ile karşılaştırılmış, bu taşıta göre avantaj ve dezavantajları tespit edilmiştir.

Tablo 5. FUNNY taşıtının Opel Corsa 'ya göre avantaj (+) ve dezavantajları (-)

Özellik	Ağırlık
İvme (0-80)	-8.81
İvme (50-90)	-9.36
İvme (80-120)	-10.97
Vmax	-1.12
Yakıt Ekonomisi(ş.İçi)	7.29
Yakıt ekonomisi (ş.arası)	2.85
Yokuş	-10.21
Ağırlık etkisi [kg]	16.04
Hava direnç katsayısı [-]	-0.00134
Ön koltuk konf.	9.01
Arka koltuk konf.	5.32
Önden inip-binme	10.78
Arkadan inip-binme	5.93
İç hacim	13.41
Park etme	-1.92
Bagaj hacmi	4.43
Yaylanma konf.	0.67
Dönemeç sey. k.	1.44
Pasif (yan)	5.47
Pasif (ön)	12.45
Pasif (yaya)	-0.04
Fren stabilitesi	9.80
Stabilite	-2.38
Yan rüzgar duy.dir.	-4.48
Devrilme sınırı	0.72
Manevra kabiliyeti	3.96
Slalom kabiliyeti	-8.96
Dön. doğr. kor.	-6.11

Sonuç olarak matematik model yardımıyla oluşturulmuş ACANO programı yardımıyla bir taşıtın özellikleri ve parametreleri daha tasarımının erken aşamalarında analiz ve optimize edilebilecek ve gerekli parametre değişiklikleri uygulanarak tasarımda geriye dönüş (feedback) faaliyetleri asgariye indirgenerek tasarım süresi kısaltılacaktır.

Taşıt özellikleri ve parametreleri dikkate alınarak kurulan bağıntıların oluşturduğu modelde anlatılan çözüm yaklaşımlarıyla tasarım sırasında karar vericinin sezgilerini keskinleştireceği veya yönlendirici olacağı bir gerçektir. Fakat hiçbir matematiksel yöntem veya teknik karar vericinin yerini tutamaz, ancak ona yardımcı olur.

Kaynaklar

- Bräss, H., (2003). Das automobil und die wissenschaften, *ATZ*, **105**, 74-82.
- Calabrese, G., (1999). Manufacturing involvement in product development, *International Journal of Vehicle Design*, **21**, 1, 110-121.
- Dantzig, G. ve Thapa, M., (1997). *Linear programming*, Springer, Berlin.
- Elmar, D. ve Matthijs, B., (2004). Educating automotive design: A scientific approach without compromising tecit knowledge, *International Engineering and Product Design Education Conference*, 2-3 September 2004, Delft, Holland.
- Göktan, A.G., (1992). *Taşıt tasarımı*, İ.T.Ü. Basım, İstanbul.
- Green, H., (1999). *Automobile aerodyanmics*, John Wiley & Sons, New York.
- Kalkert, W., (1998). Kundenorientierter entwicklungsprozess, *ATZ*, **69**, 70-74.
- Liu, X.J., Yang, J.K. ve Lövsund, P., (2002). A study of influences of vehicle speed and front structure on pedestrian impact responses using mathematical models, *Traffic Injury Prevention*, **3**, 31-42.
- Mitschke, M., (1995). *Dynamik der kraftfahrzeuge, Band C: Fahrverhalten*, Springer, Berlin.
- Smith, J.H., (2002). *An Introduction to modern vehicle design*, Butterworth- Heinemann, Oxford.
- Svobodny, T., (1998). *Mathematical modeling for industrial engineering*, Prentice Hall, New York.
- Zomotor, A., (1987). *Fahrwerktechnik: Fahrverhalten*, Vogel, Würzburg.