

# Tasarımdan Ürüne Otomobilin Yolculuğu

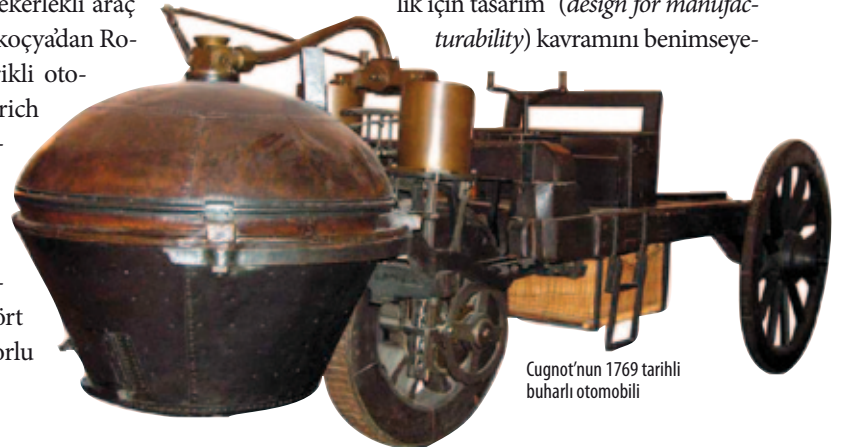
Otomobil sayısı Amerika Birleşik Devletleri'nde 1895 yılında 300 iken 2008'de 300 milyona yaklaştı. 2008 yılında dünyada 70 milyondan fazla otomobil üretildi. Bugün yeryüzündeki toplam araç sayısının 600 milyonu geçtiği tahmin ediliyor. 1913'te en hızlı şekilde her 93 dakikada bir otomobil üretilebilirken, bugün tipik bir üretim bandından bir dakikadan daha az zamanda bir otomobil çıkıyor. Otomobilin yüzyılı aşkın evrimsel sürecinde uçak ve uzay araçlarına da destek veren çok önemli teknolojik yenilikler gerçekleşti. Bu teknolojiler arasında yer alan bilgisayar destekli tasarım, bilgisayar destekli mühendislik ve bilgisayar destekli üretim, otomobilin kavramsal tasarımdan ürüne dönüşmesinin arkasındaki gerçek güçlerdir.



“Otomobil” kelimesi eski Yunancada “kendi kendine” ve Latince “hareket eden” anlamına gelen kelimelerden türetilmiştir. İlk otomobilin ne zaman tasarlandığı ve nasıl bir tasarımı olduğu konusunda değişik fikirler olsa da, kendi kendine hareket eden araç kavramı, Leonardo'nun 15. yüzyılda tasarımını yaptığı, yaylı bir sistem ile hareket eden kavramsal modele kadar götürülebilir. Hareket sistemleri açısından incelendiğinde, 1769'da Nicholas-Joseph Cugnot'un Fransız ordusu için ürettiği, saatte yaklaşık 4 km yapabilen üç tekerlekli araç buharla çalışan ilk otomobildir. İskoçya'dan Robert Anderson 1839'da ilk elektrikli otomobili, Almanya'dan Karl Friedrich Benz ise 1885'te üç tekerlekli, yakıt emme, sıkıştırma, yakma ve egzoz aşamalarını içeren dört zamanlı, içten yanmalı motora sahip ilk benzinli otomobili üretti. 1886'da Wilhelm Daimler ilk dört tekerlekli ve dört zamanlı motorlu Cannstatt-Daimler'i üretti.

İlk otomobilin üretilmesinden bu yana geçen bir yüzyılı aşkın süre içindeki otomobil tasarım ve üretim teknolojilerini incelemek, bu süreçlere etki eden etkenleri kısaca ana hatlarıyla hatırlamak günümüzde bulunduğumuz konumu anlamak açısından yararlı olur.

Fransa'dan Panhard ve Levassor (1889) ve Peugeot (1891), Amerika'dan Charles ve Frank Duryea kardeşler (1893) ve Ransome Eli Olds (1901) dünyadaki ilk benzinli otomobil üreticileri arasında yer alıyordu. Ancak bu araçların standart üretimi açısından önemli sorunlar vardı. Henry Ford bu sorunları “üretilebilirlik için tasarım” (*design for manufacturability*) kavramını benimseye-



Cugnot'un 1769 tarihli buharlı otomobili

rek büyük ölçüde ortadan kaldırdı. Ford 1903 yılında Michigan'da kurduğu fabrikada A Model'i üretmeye başladı. İlk yıl 1750 otomobil üretti. 562 kg ağırlığındaki A Model, en fazla 72 km/saat hız yapabiliyordu ve o yıllarda 750 dolara (günümüz fiyatıyla yaklaşık 18.000 dolar) satılıyordu. Ford, fabrikaya 1913'te ilk montaj hattını kurarak dünyadaki en hızlı ve en büyük otomobil üreticisi durumuna geldi. Üretim maliyetini ve zamanını önemli ölçüde düşürdü. Bir Ford T Model'in montajını 93 dakikada yaparak, 1927'ye kadar 15 milyon T Model üretmeyi başardı.

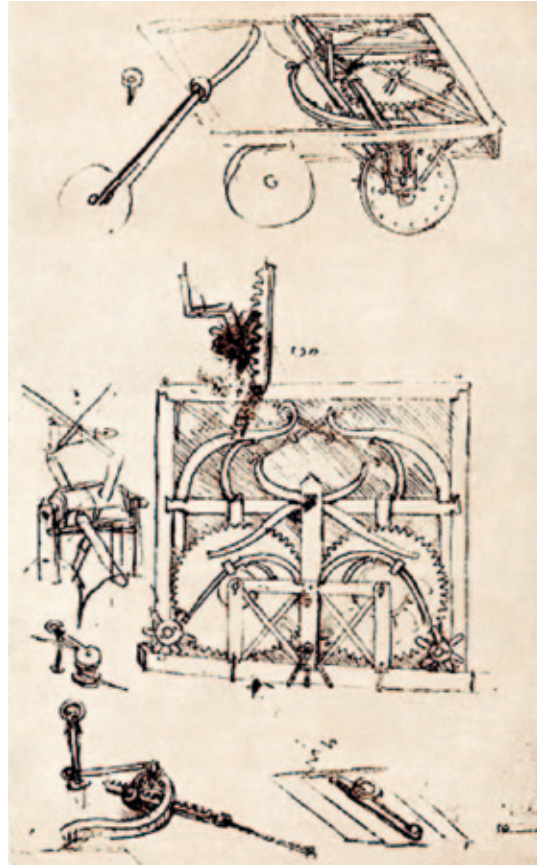
II. Dünya Savaşı sırasında ve sonrasında endüstriyi etkileyen önemli gelişmeler yaşandı. Üretim alanında önemli bir aşama 1950'li yılların başlarında MIT'de (Massachusetts Institute of Technology - Massachusetts Teknoloji Enstitüsü) geliştirilen sayısal kontrollü (NC-*numerical control*) makineler ile gerçekleşti. Bu kontrol teknolojisi 1955'de endüstride ilgi görmesinin ardından hızla yaygınlaşmaya başladı ve üretim otomasyonunda, özellikle otomotiv ve uçak endüstrisinde önemli sıçramalara sebep oldu. Sayısal kontrollü teknolojide makinelerin programlanması özel şeritlerle yapılıyordu. Parça ve kalıpların tasarlanan şekilde üretilmesi için yapılması gereken hareketlere ilişkin bilgiler ve komutlar makinelerin kontrol ünitelerine, bu şeritlere belli kurallara uygun olarak açılan delikler sayesinde aktarılıyordu. Sayısal kontrollü teknolojiyle makineler ilk kez programlanabilir, kullanıcıdan bağımsız ve hassas üretim yapabilir hale geldi. Delikli şeritlerle programlama zor olsa da, sayısal kontrollü makineler, özellikle de otomobil ve uçak endüstrilerinde, daha kısa zamanda ve yüksek kalitede kalıp ve kritik parça işlenmesinde çok önemli roller üstlendi.

Bir diğer önemli gelişme bilgisayar destekli tasarım alanında yaşandı. II. Dünya Savaşı sırasında askeri amaçla başlatılan radar sinyallerinin grafiksel olarak görüntülenmesi projesi (*Semi-Automatic Ground Environment-SAGE*), 1950 ortalarında MIT'de başarılı bir şekilde sonuçlandırıldı. Bu proje endüstriyel uygulamaları da kapsayacak şekilde genişletildi. 1960'ta, yine MIT'de ilk tasarım programı (*sketchpad*) üretildi. Yeni gelişen bu tasarım teknolojisini ilk uygulayan ve kendilerine uyarlayan sanayiler otomobil ve uçak sanayileriydi.

Zaman içerisinde sürekli geliştirilen bilgisayar destekli tasarım programları, otomobil tasarımında önemli roller üstlendi. Bilgisayar destekli tasarım öncesinde, otomobili meydana getiren binlerce parça mühendisler tarafından tek tek elle çiziliyordu. Hesaplamaların yapılması, hesap hatalarının bulunması ve düzeltilmesi hayli uzun sürüyordu. Günümüz-

dekilerle karşılaştırıldıklarında çok sınırlı özelliklere sahip olsalar da, özellikle 1980'li yıllarda yaygınlaşan kişisel bilgisayarlar ve bilgisayar destekli tasarım programları otomobil tasarım süreçlerinde kayda değer ölçüde yer almaya başladı.

90'lı yıllardan sonra tasarım ile beraber bilgisayar destekli mühendislik analiz ve üretim yazılımlarının, endüstriyel robotik ve otomasyon sistemlerinin de kullanılmaya başlamasıyla otomotiv endüstrisinde üretim önemli ölçüde hızlandı. Endüstriyel robotik ve otomasyon, başka bazı endüstrilerde olduğu gibi otomobil endüstrisinde de vazgeçilmez öğelerdir. Bu alanlarda sürekli yaşanan teknolojik gelişmeler sayesinde, otomobiller daha verimli ve yüksek hassasiyetle tasarlanıp üretilir hale gelmiştir.



Doç. Dr. İsmail Lazoğlu Lisans derecesini İstanbul Teknik Üniversitesi'nden, yüksek lisans ve doktora derecelerini ABD'de Georgia Institute of Technology'den aldıkdan sonra University of Illinois at Urbana-Champaign ve Kanada'da University of British Columbia'da doktora sonrası araştırmacı olarak çalıştı. Kuruculuğunu ve yöneticiliğini yaptığı Koç Üniversitesi Üretim ve Otomasyon Araştırma Merkezi'nde çeşitli teknoloji alanlarına yönelik disiplinlerarası çalışma ortamında araştırmacılar yetiştiriyor. Uluslararası dergi ve konferanslarda yayımlanmış 70'den fazla makalesi var. 2005 yılında TÜBİTAK Teşvik Ödülü'nü kazandı. Uluslararası Üretim Mühendisliği Akademisi (CIRP) üyesi.

Leonardo da Vinci'nin 15. yüzyılda çizdiği yaylı sistemle hareket eden araç taslağı

Günümüzde otomobiller disiplinlerarası çalışmalar sonunda mekanik, elektronik, kontrol ve bilgisayar donanımlarıyla bütünleşmiş, binlerce parçadan oluşan, gittikçe karmaşık hale gelen araçlardır. Bilgisayar destekli tasarım, mühendislik analizleri ve üretim teknolojilerine sahip olmadan, modern bir araç tasarımı yapmak artık mümkün değildir. Bu teknolojiler sayesinde, maliyetleri azaltmak, üretim zamanını kısaltmak, yüksek hassasiyette, düşük toleranslarla nitelikli ürün ortaya çıkarmak ve insan hatasını en aza indirmek mümkündür.





Ford Montaj Hattı, 1913



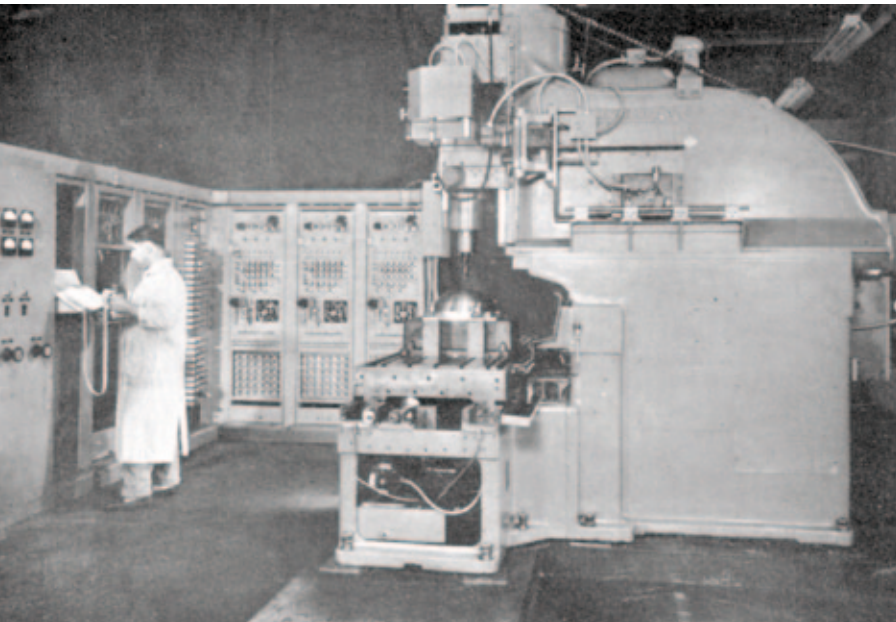
Ford T Model, 1910

Otomobil tasarımı, endüstriyel tasarımcıların ve tasarım mühendislerinin kavramsal taslakları çizmesiyle başlar. Bu taslaklarda otomobilin genel hatları belirlenir. Belirli incelemeler sonunda kavramsal taslaklarda düzeltmeler yapılır ve taslaklar detaylandırılmak üzere mühendislik birimlerine aktarılır. Seçilen kavramsal tasarımın alt yapısını oluşturacak teknolojik çalışmalar ve mühendislik çalışmaları bu noktada başlar. Bu bölümlerde makine, elektrik, elektronik, endüstri, tekstil ve imalat mühendisleri ortaklaşa çalışır.

ronik ortamda paylaşım gerçekleşir. Hareketli bir yapıya sahip olduğu için aracın mühendislik bakımından pek çok zorunlu hesaplaması vardır. Geometrik modellemenin yanı sıra, aracın dinamik olarak da modellenmesi ve değişik kontrol sistemlerinin geliştirilmesi günümüzde önemli bir tasarım aşamasıdır. Fiziksel araç yaratılmadan önce bilgisayar destekli mühendislik analizleri ile dinamik sistem modellemesi ve kontrolü için ön çalışma yapılır. Araç dinamiğinin belirlenmesi, araç üzerinde kullanılacak parçaların seçilmesi, aracın yol tutuşu, sürüş performansı, motor performansı, kontrol sisteminin dinamik yapı üzerine etkisi gibi pek çok problem bilgisayar destekli mühendislik yazılımları ile çözülür. Dinamik modelin geometrik olarak etkilendiği hava akış analizleri, aracın sahip olduğu titreşim frekansları, mukavemet özellikleri, araç kabini içerisinde oluşan gürültü bilgisayar destekli mühendislik yazılımları yardımıyla öngörülür.

Prototip imalatından önce aracın ergonomisi, aracı kullanacak kişinin güvenliği ve hatta araç dinamiğinin sürüş üzerine etkisi de bilgisayar destekli mühendislik yazılımları yardımıyla incelenir, yapılan hatalar düzeltilir. Her parçanın tasarıma uygun olarak üretilmesi özellikle prototipleme kısmında geçmişte çok uzun zaman almaktaydı. Günümüzde kullanılan hızlı prototipleme gibi pek çok yeni üretim yöntemi ile üretimde yaşanabilecek problemlerin ve zaman kaybının önemli ölçüde önüne geçilmiştir.

Tasarlanan her parça için yapılan mühendislik analizlerine ve hesaplamalarına göre uygun malzeme, geometri ve üretim yöntemi belirlenir. Ardından parça modelleri bilgisayar destekli üretim programlarına aktarılır. Böylece geçmişte kâğıt üzerinde yapılan pek çok iş, bölümler arası bürokratik işler ve hata riski büyük ölçüde azaltılmış olur.



MIT'de geliştirilen ilk sayısal kontrollü kalıp işleme makinesi

Mekanik, elektrik, elektronik ve kontrol sistemleri gibi tüm ünitelerin alt parçaları ilgili mühendislik grupları tarafından bilgisayar ortamında tasarlanır ve analiz edilir. Tasarımın her aşamasında gruplar arasında yoğun bir bilgi alışverişi ve elekt-



İlk CAD iş istasyonu, 1960



IBM tarafından General Motors için geliştirilen ilk ticari bilgisayar destekli tasarım sistemi: DAC-1



Sayısal kontrollü makinelerin programlanmasında kullanılan delikli şerit

## Üretim ve Otomasyon Araştırma Merkezi'ndeki Otomotiv Sektörüne Yönelik Çalışmalar

Rekabetin küresel boyuta geldiği günümüzde rekabetin artırılması için üretim ve otomasyon çok önemli iki faktördür. Temel olarak yüksek teknoloji içeren ürünlerin yaratılabilmesi için yüksek seviyede teknik bilgi ve yetenek gerekir. İleri seviyede bilgi ve yeteneğin oluşturulabilmesi için, yüksek kaliteli ve disiplinlerarası mühendislik eğitimi ve araştırmaları zorunludur. Mühendislik öğrencilerinin uzmanlık alanlarının üst sınırlarında olmaları için sadece mühendislik ve bilim temelleriyle donatılmış olmaları yetmez, ileri seviyede teorik ve deneysel araştırma yapabilmeleri de gerekir. Bugün için iyi olanın yarın için yeterli olmayacağı bilinen bir gerçektir.

Bütün bunlar sadece akademik dünya için değil endüstri için de geçerlidir. Rekabetçi piyasa ortamı sürekli olarak yeni zorluklar getirmektedir. Bu zorluklar gelişim için fırsatlara dönüştürülmelidir. Endüstriler faaliyetlerini sürdürebilmek ve rekabet ortamı içinde kalabilmek için yeni üretim ve otomasyon felsefesiyle donatılmalıdır. Firmalar yüksek teknoloji ürünler geliştirip piyasadaki yerlerini üst seviyelere çıkarmak için ürün geliştirme süreçlerini kısaltabilmeli, üretim ve otomasyonda çevikliklerini yükseltmeli, yenilikçi beceri ve bilgilerini sürekli olarak arttırabilmelidir.

Koç Üniversitesi Üretim ve Otomasyon Araştırma Merkezi bütün bu düşünceleri içerecek biçimde 2000 yılında üretim, otomasyon, mekatronik, biyomühendislik ve alternatif enerji alanlarında, gelişmiş disiplinlerarası bilimsel araştırma yapmak ve eğitim vermek üzere kurulmuştur. (Ayrıntılı bilgi için <http://marc.ku.edu.tr> sitesi ziyaret edilebilir) Yüksek hassasiyet ve teknoloji üre-

timin zorunlu olduğu bilgisayar destekli tasarım, bilgisayar destekli mühendislik analizleri ve bilgisayar destekli üretim, Merkez için büyük önem taşımaktadır.

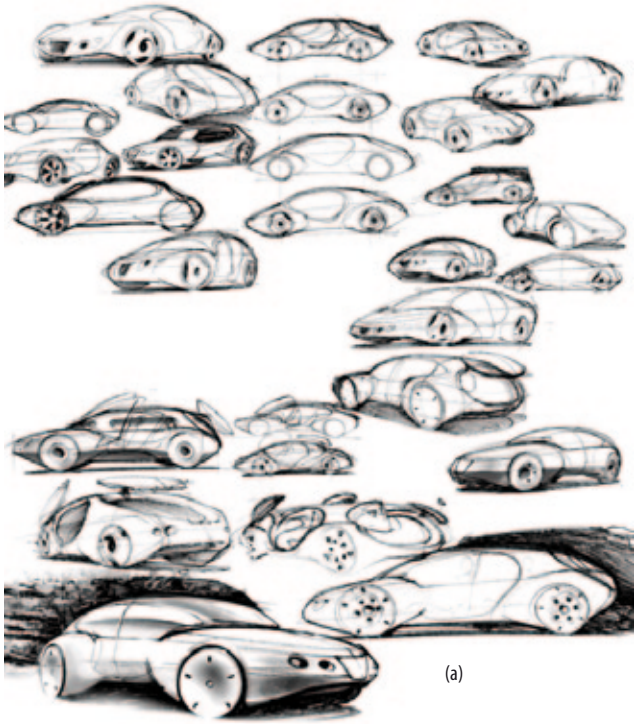
Otomobil tasarımında mekanizmaların (kapı, bagaj vb.) tasarımı zaman alan süreçlerdir. Bu mekanizmalarda işlevsellik, dayanıklılık, maliyet gibi unsurların da göz önüne alınması gerekir. Tasarım sürecinde tüm parçalarda değişiklik yapılabilir ve yapılan küçük bir değişiklik diğer parçalarda da değişiklik yapılmasını gerektirebilir. Örneğin ana gövdede yapılan bir değişiklik, kapı tasarımının bütünüyle baştan yapılmasını gerektirebilir. Bu sebeple bir kapının tasarımı aylarca sürebilir. Koç Üniversitesi Üretim ve Otomasyon Araştırma Merkezi ve bir otomobil firmasının ortak çalışması ile geliştirilen, ticari olarak kullanılan bir bilgisayar destekli tasarım programının altında çalışan bir yazılım, bilgisayar destekli kapı tasarımı sürecini otomatik hale getirerek, aylar süren kapı tasarımı sürecini birkaç saatte yapılabilir hale getirmiştir. Bir başka deyişle, geometrik ve kinematik sınırlamalar dikkate alınarak, tasarım otomasyonu ve eniyilemesi gerçekleştirilerek, yeni nesil otomobil kapıları yüksek hassasiyetle ve hızla tasarlanabilmektedir.

Üretim ve Otomasyon Araştırma Merkezi'ndeki otomotiv sanayine yönelik diğer bir projede de bir otomobil fabrikasında işlenen motor silindirlerinin kalitesinin artırılması hedeflenmiştir. Bu projede yeni geliştirilen farklı üretim stratejileri ile bilgisayar kontrollü makinelerde üretilen motor silindirlerinin kalitesi artırılmış, üretim maliyeti ve süresi önemli ölçülerde düşürülmüştür.

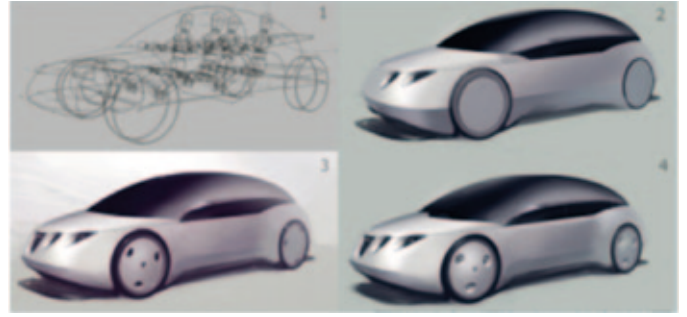


Üretim ve Otomasyon Araştırma Merkezi'nde kullanılan 5-eksenli bilgisayar kontrollü işleme merkezi (üstte) Araştırma Merkezi'nde motor silindirlerinin işlenmesi (altta)





(a)

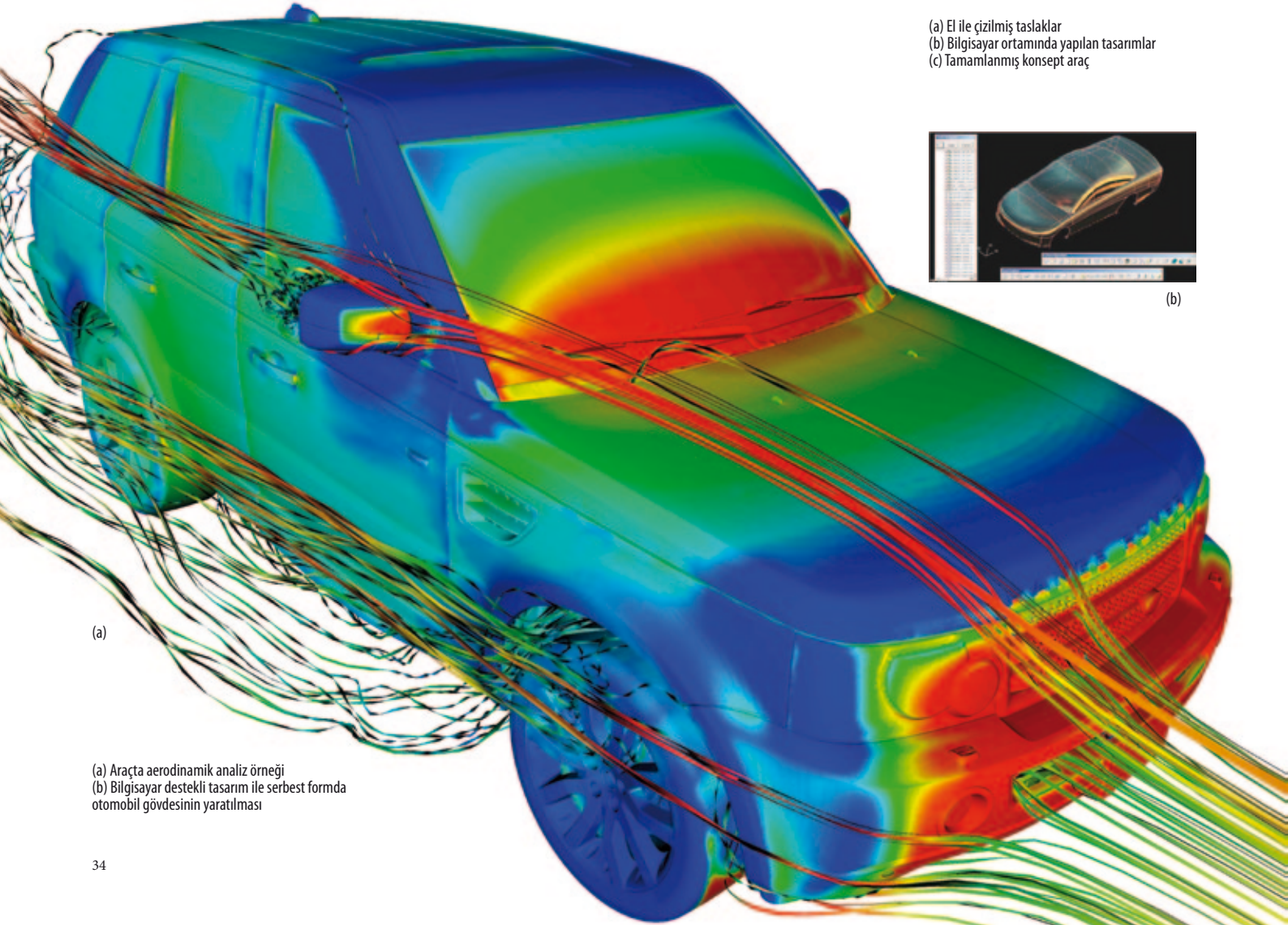


(b)

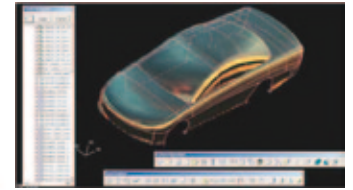


(c)

(a) El ile çizilmiş taslaklar  
(b) Bilgisayar ortamında yapılan tasarımlar  
(c) Tamamlanmış konsept araç

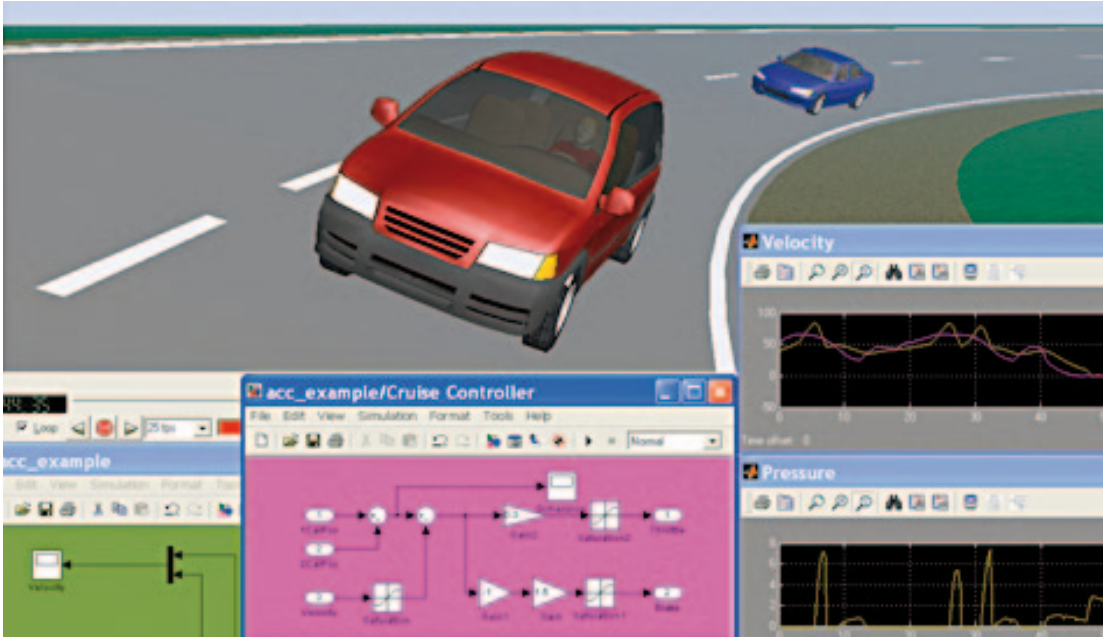


(a)

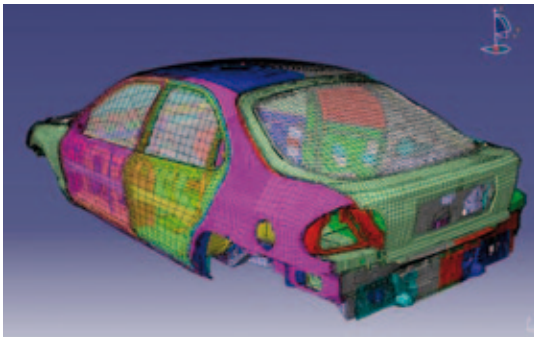


(b)

(a) Araçta aerodinamik analiz örneği  
(b) Bilgisayar destekli tasarım ile serbest formda otomobil gövdesinin yaratılması



Aracın dinamik ve kontrol sistemlerinin bilgisayar ortamında modellenmesi (üstte)  
Sonlu elemanlar yöntemi ile aracın analizinin yapılması (altta)



Prototip imalatında geçmişte elle hazırlanan teknik resimlerin yerini bilgisayar destekli tasarım programlarındaki sayısal parça geometrileri almıştır. Prototip imalatından sonra uygun testleri geçen ve ticari izinleri alan araçlar seri üretime geçmeye hazırdır. Seri üretime geçildiğinde bilgisayar kontrollü işleme makineleri, hızlı prototipleme makineleri, enjeksiyon makineleri, presler, endüstriyel robotlar kullanılarak pek çok işlem gerçekleştirilir. Bu noktada şimdiye kadar prototip imalatında kullanılan bütün bilgisayar tasarımları üretime aktarılarak geçmişe oranla üretim süreci önemli ölçüde hızlandırılır. Bu aşamadan sonra bilgisayar destekli üretim sürecinin geliştirilmesi söz konusudur.

Sonuç olarak, otomobillerin buharlı makineler kullandığı 18. yüzyıldan, hibrid motor (elektrik ve içten yanmalı motor) teknolojisinin kullanıldığı günümüze kadar araç üretim sürecinde pek çok değişim ve gelişim gerçekleşti. Bilimsel gelişmenin ortaya çıkardığı bu teknolojik değişim sayesinde günden güne daha hızlı, güvenilir ve az enerji tüketen araçlar üretiliyor. Bu durum otomotiv endüstrisinde kritik roller üstlenen endüstriyel otomasyon, robotik, bilgisayar destekli tasarım, bilgisayar destekli mühendislik analizleri, prototipleme ve bilgisayar destekli üretim sayesinde günden güne gelişiyor. Gelecekte de bu rollerin artarak devam etmesi beklenmektedir. Otomotiv sektöründe çalışmak isteyen genç mühendis adaylarının ve araştırmacıların bilgisayar destekli tasarım, analiz ve üretim konularında üst düzey bilgilerle donatılmış olarak yetiştirilmesi gereklidir.

#### Kaynaklar

Happian-Smith, J., *Introduction to Modern Vehicle Design*, Butterworth-Heinemann Ltd., 2001.  
Sørensen, D., *The Automobile Development Process*, Deutscher Universitäts-Verlag, 2006.  
Lewin, T., *How To Design Cars Like A Pro*, MBI Publishing, 2003.  
Tuminelli, P., *Car Design*, teNeues Publishing, 2003.  
Plunkett, J.W., *Plunkett's Automobile Industry Almanac*, Plunkett Research, 2003.

Davies, G., *Materials for Automobile Bodies*, Elsevier Ltd., 2003.  
Fuhs, A., *Hybrid Vehicles: And the Future of Personal Transportation*, CRC Press, 2008.  
Flink, J.J., *The Automobile Age*, The MIT Press, 1990.  
Stan, C., *Alternative Antriebe für Automobile: Hybridssysteme, Brennstoffzellen, alternative Energieträger*, Springer, 2005.  
Denton, T., *Automobile Electrical and Electronic Systems*, Butterworth-Heinemann, 2004.



Hasan Sinan Bank, Lisans eğitimini İstanbul Teknik Üniversitesi Tekstil Mühendisliği ve Makine Mühendisliği bölümlerinde tamamladı. Şu anda Koç Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde Araştırma ve Öğretim Asistanı olarak görev yapıyor. İlgi alanları mekatronik, bilgisayar kontrollü takım tezgâhı sistem tasarımı, lazer ile işleme sistemleri, sistem dinamiği ve kontrolüdür.