

ENDÜSTRİYEL MATEMATİK VE SOMUT ÖRNEKLERLE ÜNİVERSİTE-SANAYİ İŞBİRLİĞİ

Prof. Dr. Erhan Coşkun

Karadeniz Teknik Üniversitesi

Fen Fakültesi Matematik Bölümü

Özet

Bu çalışmada endüstriyel matematik kavramından hareketle öncelikle her bir matematiksel alanının endüstriyel alanlarla ilişkisi incelenmektedir. Ayrıca mal veya hizmet üretimi gerçekleştiren kuruluşların uyguladıkları esnek üretim modelinin her bir aşamasına endüstriyel matematiğin somut katkısı geçmişte yürütülen bazı örnek endüstriyel projeler yardımıyla açıklanmaktadır. Endüstriyel matematiğin gelişimine yönelik olarak özellikle Avrupa'da öğrenci ve akademisyen boyutunda oluşturulan mekanizmalar incelenmektedir. Ülkemizde ilk kez düzenlenen EM2010 isimli endüstriyel matematik çalıştayında incelenen problemlere yer verilmekte ve endüstriyel matematiğin ülkemizde gelişimi ve üniversite-sanayi işbirliği için katkılarına yönelik öneriler sunulmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Endüstriyel Matematik, EM2010.

INDUSTRIAL MATHEMATICS AND UNIVERSITY-INDUSTRY COLLABORATION WITH SOME CASE STUDIES

Abstract

Starting with the concept of “industrial mathematics”, we investigate the relation between industrial fields and each mathematical field. Furthermore, we illustrate the contribution of industrial mathematics to each stage of the so-called “flexible production model”, generally used by firms that produce service or goods. In particular, we highlight the mechanisms promoting industrial mathematics in Europe throughout academic programs at student or higher levels. Finally, we mention about the problems investigated in the first industrial mathematics workshop held in our country, named EM2010, and provide hints for both university-industry collaboration and development of industrial mathematics in our country.

Key Words: Industrial mathematics, EM2010.

Giriş

Endüstri ekonomik veya sosyal bir değeri olan mal veya hizmet üretimi olarak tanımlanmaktadır. Endüstriyel matematik, söz konusu üretimde karşılaşılan matematiksel problemler ile ilgilenen matematiğin hızla gelişen bir alanı olarak tanımlanmaktadır ve ilgilendiği problemlerin kaynağı yardımıyla karakterize edilir: ilk olarak problem endüstriyel bir alana ait olmalıdır, ikinci önemli faktör ise problemin formülasyonu ve çözümü matematiksel araçlara ihtiyaç duymalıdır. Genel hatlarıyla endüstriyel matematik konusu ve özel olarak ta incelenen tipik problemler için sırasıyla [1] ve [2] nolu referanslara başvurunuz.

Endüstriyel ve Uygulamalı Matematik

Endüstriyel Matematik ile Matematik Bölümlerinde Ana-bilim Dalı bazında temsil edilen ve daha yakından tanıdığımız Uygulamalı Matematik arasında keskin bir ayırım çizgisinin olup olmadığı çeşitli bilimsel toplantılarda hala güncelliğini koruyan bir tartışma konusudur. Ancak esas itibarıyla Uygulamalı Matematikçi, matematikçi dış dünyaya bakan penceresi olmakla birlikte problem odaklı olmaması nedeniyle farklı değerlendirilmesi gerektiği yönündedir. Uygulamalı Matematikçi güncel veya potansiyel uygulama alanı olan bir matematiksel alanda, çeşitli matematiksel araçların geliştirilmesi ve tipik uygulamaları üzerinde çalışırken, Endüstriyel Matematikçi için odak noktası ise formülasyonu ve çözümü matematiksel araçlar gerektiren endüstriyel problemdir.

Sadece odak noktaları arasındaki farkın ötesinde, her iki alanın gerektirdiği bilgi birikimi, yetenek ve deneyimler de farklılık arz eder:

- Endüstriyel matematikçi, problem alanına ait uzmanlarla birlikte grup çalışması yürütmek durumundadır. Bu açıdan gerekli iletişimin sağlanabilmesi için problem alanına ait “lisanı” yeteri düzeyde bilmek durumundadır. Uygulamalı matematik genelde benzer bilgi birikimine sahip araştırmacılar (uygulamalı matematikçiler) arasında iletişim gerektirdiği için söz konusu lisan yeterlilik düzeyi daha düşüktür. Ancak yine de üzerinde çalışılan konunun güncel veya potansiyel uygulama alanı ve ilgili terminoloji uygulamalı matematikçi için de gereklidir.
- Endüstriyel matematik geniş tabanlı bir pramit benzeri farklı alanlardan bilgi birikimi gerektirir. Matematikçi farklı alanlarındaki temel bilginin yanı sıra, katı cisimler ve

akışkanlar mekaniği, termodinamik, elektrik ve bilimsel hesaplama bilgi ve deneyimi geniş bir endüstriyel problem sınıfı için minimal gerekliliktir. Uygulamalı matematik ise buna kıyasla kısmen dar ve yüksek pramit benzeri bilgi spektrumu gerektirir.

- Endüstriyel matematikte problem tanımlama yeteneği oldukça önemlidir. Problemler genelde endüstriyel uzmanlar tarafından ifade edildikleri biçimiyle matematiksel problem olarak anlam kazanmazlar. Bu bağlamda gerek akademik deneyime sahip ve gerekse ilgili Endüstriyel Kuruluş'ta görev yapmış ve Avrupa'da yaygın ismiyle teknoloji tercümanı (technology translator) adı verilen deneyimli kişiler önemli katkılar sağlarlar. Endüstriyel alanda görev yapan bir yetkilinin sunduğu problem iyi tanımlı matematiksel bir problem oluşturma işlemi belki de en önemli bir süreçtir. Bazen gerçek problemin, düşünülenenden daha farklı olduğu ortaya çıkabilmektedir. 12-16 Nisan 2010 tarihleri arasında İngiltere Warwick üniversitesinde gerçekleştirilen 73-üncü Avrupa Endüstriyel Matematik Çalıştayında [3] önerilen Rüzgar türbini probleminde, firma yetkilisi türbinin uzun ömürlü olmasını engelleyen faktörün bileşenlere ait rezonans frekansları ile ilgili olduğunu düşünmekte iken, türbin bıçağının parçalanmasına ait video üzerinde yapılan çalışma, problemin esasen itibariyle bıçak imalat malzemesiyle ilgili olabileceğini ortaya çıkardı.
- Endüstriyel ve Uygulamalı Matematik gelişim mekanizmaları da farklıdır. Avrupa'da ve Amerika'da Endüstriyel Matematik çalıştayları ile Endüstriyel firmalar tarafından sunulan problemler üzerinde Oxford Üniversitesi tarafından 1968 yılında başlatılan bir formatla bir hafta

devam eden ve “study group” adı verilen çalıştaylar düzenlenmektedir.(<http://maths-in-industry.org>). Belirtilen çalıştaylarda firma yetkilileri tarafından sunulan problemlerin çözümü araştırılmaktadır. Uygulamalı matematik’te ise gelişim mekanizması geleneksel bildiri-sunum formatındaki sempozyumlarla yürütülmektedir.

- Yukarıda belirtilen farklılıklara rağmen SIAM(Society for Industrial and Applied Mathematics) Endüstriyel ve Uygulamalı Matematik’in her ikisinin de gelişimi için periyodik olarak düzenli çalışmalar yürütmekte, bünyesinde yer alan akademik dergileri ile yayımlanan orijinal çalışmalarını ilgi duyan akademisyenlerin dikkatine sunmaktadır.

Endüstriyel Alanlar ve Matematik

Endüstriyel matematik, problemin oluştuğu endüstriyel alana uygun matematiksel alanlarda geliştirilen yöntemleri kullanır. Tipik olarak hangi çeşit endüstriyel problemlerin hangi matematiksel alan ile ilişkili olduğu Şekil 1 de şematik olarak gösterilmektedir. Söz konusu ilişki basit örneklerle aşağıda incelenmektedir:

Kriptoloji, Steganografi ve Sayılar teorisi

Kriptoloji verilerin çeşitli matematiksel yöntemleri esas alan algoritmalarla şifrelenmesini inceleyen bir alandır. Veri iletişiminde güvenliğin önemli olduğu durumlarda kriptoloji kullanılmaktadır. Kriptoloji en eski matematiksel alanlardan biri olan Sayılar Teorisini kullanır.

Benzer biçimde başkalarıyla paylaşılması istenmeyen bir resmin(gizli görüntü), bir manzara resmi(örtün görüntü) gibi genel bir resmin içerisinde saklanması olarak bilinen steganog-

rafı, sayılar teorisinde bilinen modüler aritmetik ve ilgili temel prensipleri kullanmaktadır[4].



Şekil 1: Endüstriyel ve Matematiksel Alanlar ilişkisi (Şematik Gösterim)

Diferensiyel Denklemler ve Dinamik Sistemler

Dinamik sistem, (nesne, fiziksel ortam (yer, manifold), zaman) uzayında nesnenin zamanla değişimini belirleme kuralıdır. Henri Poincaré'nin (Fransız matematikçi ve fizikçi, 1854-1912) öncülüğünü yaptığı bir alandır. Başlangıç verileri (örneğin pozisyon ve hız) ve değişim oranı bilinen nesnenin zaman-konum ikilisi belirlenebilir. Reel verileri girdi kabul eden sistem sürekli dinamik sistem, tamsayılar üzerinde tanımlı sistem ise ayrık dinamik sistem olarak adlandırılır. Sürekli bir dinamik sistem

$$\mathbf{x}' = f(t, \mathbf{x}), \mathbf{x}(0) = \mathbf{x}_0, \mathbf{x} \in \mathbb{R}^n$$

diferensiyel denklemi ile formüle edilir.

Lorenz, (Amerikalı matematikçi ve meteoroloji uzmanı), sistemi, Rössler sistemi(Rössler, Alman biyokimya uzmanı), yay salınım modelleri yukarıda verilen sisteminin özel bazı formlarıdır. Miktarı, konumu zamanla değişen ve değişime ait kuralların bilindiği her dinamik sistem, bir diferensiyel denklem ile modellenilebilir. Diferensiyel denklemler teorisi, söz konusu nesnenin zamanla değişimi, uzun zaman davranışı, başlangıç verilerine göre davranış değişimi gibi bir çok önemli araştırma alanında sonuçlar elde edilmesini sağlar.

Örneğin ortam direnci, falso nedeniyle oluşan Magnus kuvveti ve yerçekim kuvveti etkisi altında hareket eden bir futbol topunun uzay-zaman konumu bir diferensiyel denklem ile belirlenebilir[5].

Bir ülke veya canlı topluluğunun herhangi bir zamandaki nüfusunun tahmini veya daha özel olarak göç alan veya veren bir bölgenin nüfusunun zamanla değişimi

$$u_t = F(u, u_x, u_y), u(0) = u_0$$

sistemi ile modellenenbilmektedir.

Diferensiyel Denklemler ve Finansman

İleri bir tarihte sabit fiyatla bir hissenin alınması veya satılması hakkı ekonomide maddi bir değere sahiptir. Bu değer söz konusu hissenin değerinin değişimine paralel olarak değişir. Bir hissenin alınıp satılması işlemine benzer olarak, hisseyi alma veya satma hakkının belirli bir değerle devredilmesi mümkündür. Mevcut verilerden hareketle bu değer tahmini borsa oyuncuları için oldukça önemlidir. Söz konusu tahmin sürecinde matematiksel modeller kullanılmaktadır. En popüler olan model is Black-Scholes modeli olarak bilinen Fischer Black(Amerikalı ekonomist) ve Myron Scholes(Amerikalı ve

Kanadalı ekonomist) tarafından geliştirilerek 1973 yılında tanıtılan modeldir. Model üzerindeki kısıtlamalar daha sonra değişik araştırmacılar tarafından kaldırılmak suretiyle modelin kullanım alanı artırılmış ve doğal olarak da popülaritesi artmıştır. Esas itibarıyla günümüzde kullanılan biçimiyle model değişik şartlara ve random dış etkenlere izin verebilen parabolik bir kısmi diferensiyel denklemdir.

$$\frac{\partial V}{\partial t} + \frac{1}{2} \sigma^2 S^2 \frac{\partial^2 V}{\partial S^2} + rS \frac{\partial V}{\partial S} - rV = 0$$

Burada $V(S, t)$: t anındaki değeri $S(t)$ ile verilen bir malın(hisse, vs) alış veya satış opsiyon değeri, σ : ilgili varlığın fi at değişiminin ölçüsü(volatility) ve r ise faiz oranıdır[6].

Geometri ve Bilgisayar Destekli Mühendislik-Tasarım

Hareket halindeki sistemler veya cisimler üzerinde dış etkenlerin etkisi, doğal olarak bu sistemlerin belirtilen dış etkenlerin etkisini minimize etmek amacıyla sahip olması gereken geometrik şeklin de belirlenmesine katkı sağlamıştır:

Kullanım amaçları gibi bir çok etkenin yanısıra, bir otomobil tasarımında önemli hususlardan birisi hareket halinde iken aracın hareketi ile oluşan dış hava akımının veya değişik yönlerden aracın otomobilin etkisinde kalabileceği rüzgarın araç hareketini minimum düzeyde etkilemesi için sahip olması gereken geometrinin belirlenmesidir. Deniz, hava ve karayolu araçlarının kendi sınıflarında farklı geometrik şekilleri olmasına rağmen ortak bir takım özelliklere sahiptirler. Münibüs biçiminde bir yarış otomobili tasarlanmış olsaydı ne olurdu?

Havayolu araçları için aerodinamik etkenlerin, deniz yolu araçları için hidrodinamik etkenlerin ve kara yolu araçları için

ise ağırlıklı olarak esneklik, sürtünme, moment ve aerodinamik etkenlerin fiziksel yasalar çerçevesinde tahmin edilebilmesi ve gerekli geometrik tasarımların söz konusu etkenler çerçevesinde gerçekleştirilmesi gerekmektedir.

İngiltere Warwick Üniversitesinde gerçekleştirilen 73 üncü Avrupa Endüstride Matematik çalıştayında(ESGI73, European Study Group with math in Industry) uygulamalı matematikçiler tarafından incelenen problemlerden bir tanesi oldukça ilginçti[2]:



Şekil 2: Ofis koltuğunda ergonomik yaslanma pozisyonu(ESGI73)

Hilary Birkbeck kısmen amatörce koltuk tasarımı üzerinde uzun yıllar çalışmış ve Autocad bilen bir arkadaşının yardımıyla da koltuk tasarımları gerçekleştirmiş. Ancak gerçekleştirdiği tasarımın ideal olduğu noktasında endişeleri vardı. Tasarım ve üretimini yaptığı bir koltuğu çalıştaya getirerek şu soruyu yönlendirdi: Bu koltuğun ergonomik bir koltuk olup olmadığı nok-

tasında sizlerden bilimsel bir cevap istiyorum. Amacının ergonomik bir koltuk tasarımı olduğunu ifade ederek, tasarımında çok fazla gayret sarfetmeden Şekil 1 de görüldüğü üzere koltuğa oturan kişinin kolayca geri yaslanmasını sağlamayı amaçladığını ifade ederek,

“Eğer bu tasarım doğru ise benimle aynı fikirde olduğunuzu ifade edin. Bu durumda sizin onayınızla da piyasaya çıkmak istiyorum. Eğer tasarımın yanlışsa, bu durumda ispat istiyorum..”

diyerek başlangıçta pek te matematiksel gözükmeyen bir problem önerdi. Problem üzerinde çalışan grup tasarımın geri yaslanma esnasında vücudun belden yukarı ve aşağı kısımlarının potansiyel enerjilerinin toplamının sabit kalması gerektiği prensibini esas alarak hareket esnasında koltuk eklem kısmını takip etmesi gereken eğrinin ne olması gerektiğini belirlediler. Enerjinin sabit kalması gerektiği varsayımı ise sistemin dışarıdan iş yapılmadan hareket etmesini sağlaması açısından kritik prensip olarak değerlendirildi.

Geri yaslanma hareketi boyunca enerjinin sabit kaldığı eğrinin belirlenmesi ve ergonomik koltuk tasarımı problemi geometri ve fiziğin bir üretim problemi için birlikte ve uyumlu olarak nasıl yardımcı olabildiğinin çok çarpıcı bir örneğidir.

Nonlinear Kontrol ve Elektromekanik Sistemler

Kontrol teorisi matematik ve mühendisliğin ortak araştırma alanlarından birisidir ve Modelleme, Analiz ve Sentez aşamalarını içerir.

Modelleme kısmı Mekanik, elektrik matematiksel fizik, biyoloji vs gibi alanlarda karşılaşılan gerçek problemlerin Matematiksel modellerinin oluşturulmasını içerir. Problem genelde pa-

rametre içeren lineer veya nonlinear bir diferensiyel denklem ile ifade edilebilmektedir. Sistemin istenilen performansı vermesini sağlayacak parametrenin veya fonksiyonun belirlenmesi gerekir.

Analiz yönüyle sistemin kontrol edilebilirliği ve kararlılığı gibi arzu edilen performansları incelenir.

Sentez yönüyle ise istenilen performansa yönelik geribildirim(feedback) kontrolünün geliştirilmesi amaçlanır.

Oluşturulan modelin değişen parametre değerleri için kararlılık analizi ileri düzey yöntemler yardımıyla gerçekleştirilir.

• $v=v(t)$, t anındaki deniz aracı hızını göstermek üzere, Newton yasası gereği aracın hızını belirleyen diferensiyel denklem

$$mv' + cv|v| = u$$

ile verilebilir. Burada u araca verilen itme kuvveti, m aracın kütlesi, $cv|v|$ ise hareketin tersi yönündeki ortam direnç(drag) kuvvetidir. Bir kontrol problemi olarak araştırılmak istenen problemlerden bir tanesi ise aracın arzu edilen hızda seyirinin sağlanması için u kuvvetinin ne olması gerektiğidir. Herhangi bir hızda sistemin dış kuvvet değişimine veya ortam direncine karşı vermiş olduğu tepkinin analizi sistemin performansının anlaşılabilmesi için oldukça önemlidir.

• ESGI68(Southampton, Mart 2009, UK) Endüstriyel çalışma grubunda Jaguar Land Rover yetkilisi Phil Barber tarafından yöneltilen kontrol problemi oldukça ilginçti:

Seyir esnasında aracın önünde algılanan hareketli veya hareketsiz bir engele(diğer araç) uygun bir yakın mesafede düzgün bir yavaşlamayı gerçekleştirecek fren kontrol sisteminin matematiksel modelinin oluşturulması istendi. Bu amaçla T dur-

ma süresi olmak üzere, öncelikle konforlu frenleme sürecinin uyması gereken kriterler belirlenerek, $0 \leq t \leq T$ durma zaman aralığındaki toplam konforsuzluk düzeyi [6]

$$J(v, T) = \int_0^T (v'')^2 dt$$

olarak tanımlandı, burada $v(t)$ aracın t anındaki hızını göstermektedir. Dikkat edilirse konforsuzluk düzeyi ivmenin zaman göre toplam değişiminin bir ölçüsü olarak ifade edilmiştir. Matematiksel problem ise belirli bir başlangıç hıza ve ivmeye sahip olan aracı, başlangıç noktasından D kadar uzaklıkta bir noktada minimal konforsuzluk düzeyi ile durdurmaktır. Diğer bir deyimle T durma zamanı ve J yi minimize eden $v(t)$ hız profilinin belirlenmesi gerekmektedir.

Numerik Analiz ve Yüksek Başarımlı Hesaplama

Numerik analiz hemen hemen bütün endüstriyel problemlerin çözümünde kullanılan önemli bir matematiksel araçtır, çünkü endüstriyel problemlere ait matematiksel modeller kağıt ve kalemle çözülemeyecek veya çözümleri analiz edilemeyecek boyutlardadır. Diferensiyel denklemler için sayısal yöntemler ile MATLAB, MAPLE ve MATHEMATICA gibi sayısal ve sembolik cebir programları bu amaçla sıkça kullanılmaktadır.

Öteyandan iklim modeli, süperiletkenlik, gen hesaplamaları gibi güncel alanlar genellikle tek işlemcili bilgisayarlar yerine, yüzlerce işlemcisi bulunan ve paralel bilgisayar adı verilen bilgisayarlar yardımıyla gerçekleştirilmektedir. Bu bilgisayarlarda işlem gerçekleştirebilmek için, paralel programlama araçlarının veya dillerinin bilinmesi gerekmektedir.

Bölge ayrışım yöntemi adı verilen bir yöntem ile iki veya üç boyutlu problemlerin tanımlı oldukları fiziksel bölge, alt bölgelere ayrılarak her bir alt bölgede problem çözümü çok işlemcili bilgisayarın bir işlemcisine atanır. İklim modeli olarak bilinen ve atmosferin belirli noktalarında rüzgar hızı, basınç, nem ve sıcaklık değerlerini hesaplayan modelin bütün atmosferik bölge üzerinde çözümü paralel bilgisayarlar ve ilgili paralel araçlar(programlama dilleri) yardımıyla gerçekleştirilmektedir [8].

Aşağıda üretim süreçlerinde Endüstriyel Matematiğin katkısı incelenmektedir.

Üretim Süreçleri ve Endüstriyel Matematik

Üretim süreçlerine ait değişik modeller söz konusu olmakla beraber, esnek üretim süreci adı verilen model Şekil 3'te görüldüğü gibidir.



Şekil 3: Güncel bir üretim Modeli

Yenilikçi bir fikir ve araştırma ile süreç başlar. Kapsamlı bir *araştırmayı insanlığın refahı için üretilen uygulamalı bilgi* olarak tanımlanan teknoloji geliştirme süreci takip eder. Teknoloji, teknolojik ürünün tasarımı ve geliştirilmesi için gerekli olan bilgidir. Basit bir örnekle süreci gözlemleyelim: halen piyasada bulunan ortopedik bir ayakkabı üretim firmasının son ürününe bakarak aşağıdaki süreçleri gerçekleştirmiş olması gerektiğini kolayca anlayabiliriz:

Yenilikçi Fikir

Bütün gün ayakta kalmak durumunda olan insanların bel ve sırt ağrıları başta olmak üzere yanlış sinir uçlarının gereksiz ve devamlı olarak uyarılması sonucu oluşan ağrıların minimize edecek ürün geliştirme.

Araştırma

Ayak taban kısmında bulunan hangi sinirler, vücudun hangi bölgeleri ile ilgili olduğunun araştırılması gerekmektedir. Görüldüğü üzere araştırma sağlık Bilimleri Ortopedi alanına ait bilginin araştırılması ve değerlendirilmesini gerektirmektedir.

Teknoloji

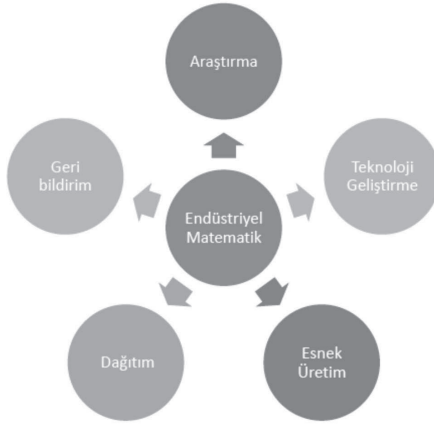
Benzer ürünlere ait üretim bilgileri ve araştırma sonucunda amaca uygun ayakkabı tasarımı ve üretimi için gerekli teknolojiyi oluşturur. Söz konusu teknoloji, sağlık bilimleri ile ilgili olduğu kadar diğer temel bilimler ve mühendislik alanları ile ilgilidir. Ayakkabı üretiminde kullanılacak malzeme özellikleri, terlemeyi önleyici tasarım özellikleri, su geçirgenliği, ısı iletimi vs. gibi konular söz konusu teknolojik ürünün arka planda çok disiplinli bir araştırma sonucu elde edilen üretim bilgisi veya teknoloji ile mümkün olabileceğini göstermektedir.

Araştırma ve Teknolojide Matematik

Üretilmesi planlanan rahat ayakkabı modelini rahat kılacak özelliklerin bilimsel verileri esas alması gerektiği açıktır. Bununla birlikte protatip modellerin ya laboratuvar ortamlarında ya da uygun matematiksel modelleri esas alan bilgisayar simülasyonları ile performans değerlendirmelerinin yapılması gerekmektedir. Laboratuvar ortamlarında yapılan performans testleri oldukça faydalı olmakla beraber, genelde pahalı bir süreçtir. Değişik her bir model ve kullanılan her bir malzeme türü için ilgili testlerin yeniden yapılmasını zorunlu kılar. Protatip ürünün performansını test yapmak yerine, ürünün bütün bileşenlerinin fiziksel ve kimyasal özelliklerinin bilinmesi durumunda, performans sonuçları uygun fiziksel kurallara göre oluşturulan matematiksel modeller yardımıyla analiz edilebilir:

Kullanılan malzemelere ait kimyasal ve fiziksel özellikleri parametre olarak kabul eden matematiksel model, farklı insan vücut sıcaklıkları ve dış ortam sıcaklıklarında örneğin terlemeyi minimize edecek optimum ayakkabı gözenek sayısı veya dış ortam temas alanının ne olması gerektiğini belirleyebilir. Söz konusu modelin gözenekli ortamlarda ısı transferi modeli olarak bilinen ve Kısmi Diferensiyel Denklemler derslerinde kısmen değinilen bir matematiksel modeli kullanması gerektiği açıktır. Ayak terlemesine ait matematiksel model ESG146 da geliştirilmiştir [9].

Üretim firması yetkilileri ile birlikte yürütülen grup çalışması sonucunda üretilen model ve modelin değişik parametreler ile elde ettiği sonuçlar, üretim firmasına tasarımı nasıl yapması gerektiği konusunda önemli bilgi verir. Şekil 4 de şematik olarak Endüstriyel matematiğin her bir üretim sürecinde rol aldığı vurgulanmaktadır.



Şekil 4: Endüstriyel Matematik ve üretim süreçleri

Esnek ve Etkin Üretim

Tek tip üretim modeli ile rekabet ortamında istenilen payın alınamayacağını üretim firmaları bilmektedir ancak, talep edilen her yenitip modelin istenilen konfor ile birlikte sağlaması gereken tasarım özellikleri ancak uygun matematiksel modelleri kullanan bilgisayar simülasyonları ile birlikte mümkün olabilir.

Öte yandan çok çeşitli üretim malzemesi, üretim araçları ve uzman personelin mevcut bulunduğu bir iş yerinde iş organizasyonu(uygun sayıda personelin uygun araçlarla üretimin ilgili aşamasını gerçekleştirmek üzere tahsisi) Optimizasyon olarak adlandırılan Uygulamalı matematik alanını kapsamında değerlendirilebilecek tipik bir problemidir. Örneğin Güney Afrika'da bir Çelik üretim fabrikasında üretim planlama problemi Güney Afrika Endüstriyel Matematik Çalıştayında incelenmiştir[10]. Ayakkabı fabrikası için benzer bir çalışma ESGI 65 çalıştayında [11] gerçekleştirilmiştir.

Ürün Kontrolölü, Paketleme ve Dağıtım

Ürün kontrolölü kaliteli üretim için önemli bir üretim aşamasıdır. Bu aşamada da matematiksel yöntemler kullanılmaktadır. Kanada yapılan bir çalıştayda Yumurta kabuklarındaki Çatlakların belirlenmesi problemi incelenmiştir[12].

Paketleme aşaması da uygun bir dille matematiksel bir problem olarak ifade edilebilir. Meyvelerin sabit ağırlıklı paketlere yerleştirme problemi Avustralya ve Yeni Zellanda Matematik Endüstriyel Matematik çalıştayında incelenmiştir[13]. Seri ürün ağırlık ölçümü yine aynı çalıştay serisinde bir yıl sonra incelenmiştir[14]. Ağırlık ölçümü işleminde giriş modelinin etkin kullanımı dikkat çekmektedir.

Satış bayilerinin taleplerini karşılayacak ve aynı zamanda nakliye maliyetini minimize edecek olan bir dağıtım planının hazırlanması yine tipik bir Optimizasyon problemidir. Özellikle birden fazla üretim fabrikası olması durumunda ülkenin farklı coğrafi bölgelerinde yer alan satış bayilerinin talepleri doğrultusunda minimum nakliye maliyeti ile dağıtım planı hazırlanması maliyet minimizasyonu ve dolayısıyla firma kar maksimizasyonu için oldukça önemlidir.

Geri Bildirim

Tüketicilerin tercihlerinin belirlenmesi bir sonraki üretim serisi için oldukça önemlidir. Bunun için mevcut veriler ve tüketim eğilimlerinden hareketle ileriye dönük projeksiyonların yapılması gereklidir. Bu amaçla da ileri matematik/istatistik yöntemler kullanılmaktadır. Sosyolojik ve psikolojik faktörleri dikkate almak suretiyle tüketici eğilimlerini tahmin eden matematiksel bir model ESGI49, Oxford[15] çalıştayında önerilmiştir.

Endüstriyel Matematik Geliştirme Mekanizmaları ECMI Öğrenci Modelleme Çalıştayları (Modelling weeks)

ECMI(European Consortium for Mathematics in Industry) Avrupa Endüstride matematik Konsorsiyumu sürekli olarak matematiksel öğeler içeren endüstriyel problemlerin çözümlerinin tartışıldığı modelleme haftası düzenlemektedirler. Detaylı bilgi için <http://www.ecmi-indmath.org>. Organizasyonunu amacı endüstriyel problemlerin çözümü için gerekli akademik bilgi ve deneyime sahip kişilerin yetişmesini sağlamaktır.

Endüstriyel Çalışma Grupları (Industrial Study Groups)

Avrupa'da 1968 yılında ilk olarak Oxford Üniversitesi'nde bir grup Uygulamalı Matematikçi ve Üretim Firması girişimiyle başlatılan işbirliği kısa zamanda verimliliğini ispatlamış gözükmektedir. Günümüzde her yıl en az on farklı üniversitede Endüstriyel problemlerin matematiksel yöntemlerle çözümünü esas alan ve "Study group with Industry" isimli çalıştaylar düzenlenmektedir. Bu çalıştaylara ait bilgiler <https://www.maths-in-industry.org> adresinde yer almaktadır. Çalıştaylar hakkında özet bilgi aşağıda yer almaktadır.

Geleneksel Çalıştay Formatı

Geleneksel formatıyla belirtilen çalıştaylar genellikle Pazartesi günü 4-5 firmaya ait problemin firma Ar-Ge temsilcileri tarafından sunumunun ardından, katılımcıların ilgi alanları doğrultusunda her bir problem için tahsis edilen çalışma odasında bir araya gelerek probleme ait çözüm arayışlarını içermektedir. Problemin çalışıldığı ortamda firma yetkilisi devamlı olarak hazır bulunarak, çözüm süreci için gerekli veri ve bilgileri katkı

limcılarla paylaşmaktadır. Çalışma grubu tarafından Pazartesi-Perşembe günü mesai saatleri içerisinde veya zaman zaman dışarısında devam eden yoğun çalışma sonucunda elde edilen matematiksel çözüm yöntemi veya model dört günlük yoğun çalışma sonunda Cuma günü 9:00-12:00 saatleri arasında firma yetkililerinin de bulunduğu ortamda sunulur. Elde edilen sonuçlara ait detaylı rapor ise çalışma grubunda yer alan gönüllü birkaç akademisyen tarafından hazırlanarak yukarıda belirtilen web sitesinde duyurulur.

Çalıştay Katılımı

Önerilen problemlere ilgi duyan ve çözümüne yardımcı olabileceğini düşünen matematikçiler başta olmak üzere her akademisyen ile lisans/lisansüstü öğrencisi çalışmaya katılabilir. Problemlerin ilgi alanlarına benzer alanlarda akademik çalışma yürüten her akademisyen çalıştayın doğal ve davetli katılımcısıdır. Ülkemiz için en iyi formatın nasıl olacağı ilk çalıştaydan sonra yapılacak değerlendirme toplantısında incelenecektir. Ayrıca takip eden çalıştaylar için ev sahipliği yapacak üniversitelerimizin değerlendirme toplantısında belirlenmesi planlanmaktadır.

Çalıştay Kazanımları

Her katılımcı grubu, çalıştaydan belirli düzeyde yararlanır:

- Firma yetkilileri önerdikleri problemin çözümüne ait yeni yaklaşım yöntemleri, matematiksel modeller veya en kötü ihtimalle bilimsel ipuçları elde ederler. Önerilen bilimsel yöntemleri esas alan teknolojileri kullanmak suretiyle üretim maliyetlerini düşürür, üretim kalitelerini yükseltir ve dolayısıyla küresel ekonomide rekabet güçlerini artırırlar.

- Farklı bilgi birikimi ve deneyi sahip akademisyenler aynı problem etrafında bir araya gelerek tecrübelerini paylaşır ve yeni fikirler ve çözümler üretirler.
- Özellikle Lisansüstü öğrenciler ve genç akademisyenler, deneyimli uluslar arası düzeyde alanlarında söz sahibi akademisyenlerle bir arada çalışmak suretiyle onlardan pratik anlamda çok şeyler öğrenirler. Deneyimli akademisyenler ise bir çok noktada daha az deneyimli meslektaşlarıyla bilgi alışverişinde bulunma ihtiyacını hissederler ve yeni yaklaşımlar ve fikirleri paylaşmaktan mutluluk duyarlar.

Grup çalışma salonlarında, akademik unvanı ne olursa olsun her katılımcı problem çözümüne ait fikrini açıkça söyler ve kabul gören fikirler doğrultusunda problem çözüm süreci şekillenir. Çalışma grubu bu yönüyle çözüm merkezli bir çalışma yöntemini esas alır.

Çalıştay Finansmanı

Geleneksel formatıyla katılımcılar yol masraflarını kendileri karşılarlar. Programın yürütüldüğü Pazartesi-Cuma günleri arasında belirli kriterleri sağlayan genç araştırmacıların konaklama ve diğer bazı giderleri organizasyona destek veren kuruluşların katkılarıyla sağlanır. Katılımcılar çalıştaya herhangi bir ücret ödemediği takdirde katılırlar.

Ülkemizde Endüstriyel Çalışma Grupları

Oxford tarafından başlatılan formatta ülkemizdeki ilk çalıştay 4-8 Ekim tarihleri arasında EM2010 ismiyle Karadeniz Teknik Üniversitesinde gerçekleştirilmiştir[16]. Aşağıda 2010 yılı içerisinde gerçekleştirilen Endüstriyel Çalıştayların bir kısmı görülmektedir.

2010

Apr 12–16	73 rd ESGI, European Study Group with Industry University of Warwick (UK)
Apr 26–30	74 th ESGI, European Study Group with Industry University of Aveiro (Portugal)
Jun 14–18	26 th MPI, Workshop on Mathematical Problems in Industry Rensselaer Polytechnic Institute (USA)
Jun-Jul 27–2	75 th ESGI, European Study Group with Industry University of Limerick (Ireland)
Jul 26–30	Claremont Colleges Math-in-Industry Workshop Claremont (USA)
Aug 16–20	FMIPW 2010, Fields-MITACS Industrial Problem-Solving Workshop Fields Institute, Toronto (Canada)
Aug 25–29	76 th ESGI, European Study Group with Industry Technical University of Denmark (DTU), Denmark (Denmark)
Sep 6–10	MMSG 2010, Mathematics in Medicine Study Group University of Strathclyde (Scotland, UK)
Oct 4–8	1 st Euro-Asian Study Group with Industry Karadeniz Technical University, Trabzon (Turkey)

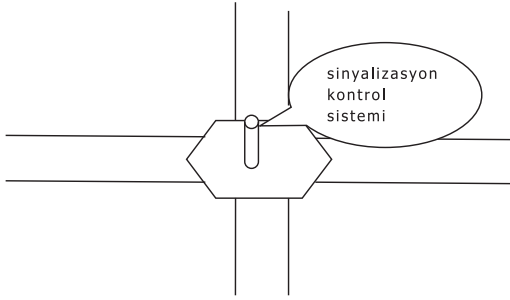
EM2010 (1st Euro-Asian Study Group) Çalıştay Problemleri

EM2010 için seçilerek çalışılan beş adet problemin kısa tanımları aşağıda sunulmaktadır.

Adaptif Kavşak Sinyalizasyon Sistemi (M. Zihni Serdar, Erişim)

Bir kontrol problemi olarak kavşak sinyalizasyon sisteminin, adaptive olarak farklı yönlerde biriken araç sayısına göre düzenlenmesi istenmektedir. Sistemin kontrolü Peryodik veya değişen aralıklarla alınacak trafik yoğunluk bilgilerinden oluşacaktır. Ancak kontrolün de adaptif olarak kontrolü söz konusu (dinamik kontrol). Trafik yoğunluğunun hemen hemen olmadığı durumlarda kamera veya sensörler yardımıyla gereksiz veri alınmaması da istenmektedir. Problem trafik yoğunluğuna göre dinamik veri toplayıp değerlendirerek, sinyalizasyonu düzenleyen adaptif kontrol algoritmasının geliştirilmesidir. Çalışma grubundan

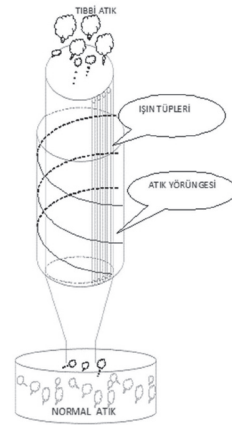
uygun algoritmanın geliştirilmesi yardımı talep edilmektedir. Problemin çözümü için matematikçiler, bilgisayar mühendisleri ve elektrik mühendislerinin işbirliği teşvik edilmektedir.



Kavşak sinyalizasyon kontrol sistemi

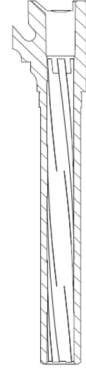
1. Tıbbi Atık Arındırma Sistemi (S. Hacısalihoğlu, TTSO)

Silindirik bir bölge içerisinde helisel biçimde dönerak ilerleyen tıbbi atıkların silindir yanal yüzeyi boyunca dizilen ışın tüplerinden yayılan özel ışınların etkisiyle, tıbbi atığı normal atığa dönüştüren bir arıtma sistemi geliştirilmek istenmektedir. Şekil 2. Normal atığa dönüştürme süreci, atıkların silindirik boyunca ilerleme hızı, silindirik halkanın boyutları, silindirin dönme hızı ve uygulanan ışın şiddetine bağlıdır. Buna göre optimal(minimal tıbbi atık bileşen kalıntısı ile) dönüştürme sistemi için belirtilen sistem parametrelerinden bir kaçının verilmesi durumunda, diğerlerinin nasıl hesaplanabileceği konusunda uygun bir formülasyonun geliştirilmesi istenmektedir.



2. El Tabancası Performans Analizi (TİSAŞ)

TİSAŞ Arsin Organize sanayi bölgesinde Kanuni, Zıgana gibi değişik modellerde tabanca üretimi yapan ve genellikle ihracata yönelik imalat gerçekleştiren bir silah üretim firmasıdır. Müşteri taleplerine göre farklı modellerde üretim gerçekleştirmektedirler. Üretimlerini optimize etmek amacıyla firma el tabancalarının farklı yönlerden inceleme ve araştırmasını yapmak istemektedir:



a) İstatistiksel Analiz

Silah şartnamesine uygunluğunu kontrol amacıyla yapılan laboratuvar testleri, aynı silahın yarı sabit bir mekanizma üzerinden yaptığı ardışık atışlarda 20 metre uzaklıktaki hedefin on santimetre çaplı bir bölgesinde farklı noktalara isabet ettiğini göstermektedir. Aynı şartlar altında yapılan atışların isabet noktalarının farklılığı odaklanma problemi olarak adlandırılmaktadır. Ayrıca ardışık atışlardaki mermi çıkış hızlarının da 6-7m/s ye kadar varan farklılıklar gösterdiği gözlemlenmektedir.

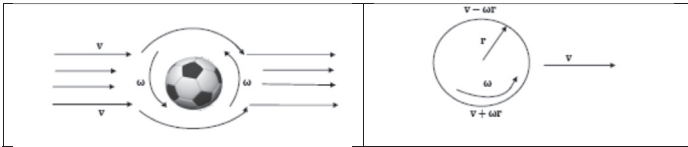
Farklı modellerden elde edilen verilerle odaklanma problemi ve çıkış hız farkları arasında bir ilişki olup olmadığının istatistiksel analizi yapılmak istenmektedir. Atış bulgularının deney düzeneği ile mi yoksa deney zamanı veya daha farklı etkenlerle mi ilişkili olduğu araştırılmak isteniyor. Problem istenilecek veriler doğrultusunda üretilecek gerekli bilgilerle kapsamlı bir istatistiksel analiz gerektirmektedir.

b) Modelleme problemi

Firma tarafından öne sürülen diğer bir problem ise namlu yiv geometrisinin sürtünme ve dolayısıyla da mermi çıkış hızı üzerindeki etkisini incelemeye yönelik bir modelin geliştirilip geliştirilemeyeceğidir. Mermi çıkış hızını etkileyen etkenlerin ağırlık oranlarının tesbiti bir diğer ilgi konusudur.

3. Falsolu Vuruşta Top Yörüngesi

Dünya kupasında da hatırlanacağı üzere, belirli bir hızın üzerinde bazı topların beklenmeyen yörüngesel davranışlar sergiledikleri tartışmalara neden olmuştur. Mevcut top yörünge modelleri falsolu topta oluşan Magnus kuvvetini hesaplarken, topun yüzeyinde belirli bir kalınlıktaki hava katmanının top ile birlikte hareket ettiğini kabul etmektedirler. Söz konusu hareket topun hareket yönüne normal doğrultudaki bölgeleri arasında bir hız farkına neden olmaktadır. Bu hız farkı ise Bernoulli Prensibine göre basınç farkına neden olmaktadır. Eğer $\vec{\omega}$ topun herhangi bir andaki dönme eksenini ve \vec{v} de hızını gösterirse, belirtilen basınç farkı ile oluşan Magnus kuvveti $\vec{\omega} \times \vec{v}$ yönünde etki etmekte ve topun doğrusal yönünün değişimine neden olmaktadır.



Top hareket yönü ve yöne normal doğrultuda hız farkı

Ancak belirtilen kabüller altında geliştirilen yörünge modeli, falsolu toplarda zaman zaman gözlemlenen ani yörünge değişimini izah edememektedir. Ani yörünge değişimi gibi hareketlere neden olan faktörlerin top hızı ve yüzey geometrisi ile ilişkili olduğu bilirse de teorik olarak top yüzeyini oluşturan parçaların geometrisi, büyüklükleri ve dolayısı ile de sayılarının top yörüngesi üzerinde nasıl bir etkiye sahip olduğu ilgi çekmektedir. Çalışma grubundan mevcut modelin[5] belirtilen ani değişimleri de modelleyecek biçimde geliştirilmesi talep edilmektedir.

4. Su Tesisatçı Problemi

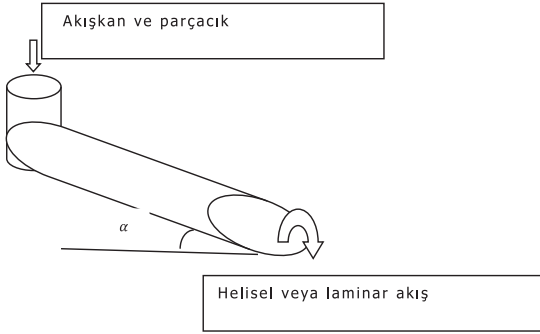
Boru içerisinde iki fazlı laminar-helisel akışkan karakteristikleri

Su tesisatçıları özellikle kirli su boru hatlarını döşerken boruların düşey konuma yakın bir yol izlememelerine dikkat etmekte. Kirli su, esas itibariyle su ve mutfak bulaşık kalıntılarından oluşmaktadır. Özellikle de yatay konuma yakın yol izleme tercihleri şaşırtıcı görülüyor. Bunun nedeni ise şöyle izah ediyorlar:

Düşey konuma yakın boru hatları içerisinde hareket eden akışkan genellikle helisel bir yörünge takip etmektedir. Bu tür yörüngeler ise kirli su akışının tipik özelliği olarak kesikli akış nedeniyle boru içerisinde zamanla kalıntıların birikmesine ve boruların tıkanmasına neden olmaktadır. Dolayısıyla yatay pozisyona yakın bir boru hattı tercih edilmektedir. Ancak zaman zaman düşey konumun da mevcut şartlar gereği kaçınılmaz olduğu durumlar söz konusudur.

Buna göre tesisatçılar için verilen boru yarıçapı, akışkan miktarı ve düşey konum açısı için laminar-helisel akış bölge sınırlarının nasıl değiştiğini detaylı olarak bilmek istemektedirler

ki gerektiği durumda laminar bölge sınırlarını zorlayarak ta olsa boru döşeme işlemlerini gerçekleştirebilirler.



Öneriler

Ülkemizde endüstri-matematik işbirliği henüz başlangıç aşamasındadır. Söz konusu işbirliğinin gelişimi daha büyük bir ölçekte olan ve bu günlerde sıkça bahsedilen üniversite-sanayi işbirliğini de tetikleyebilir. Ayrıca matematikçiler ve mühendisler arasında arzu edilen ve bir türlü gerçekleşmeyen işbirliği için ortak bir zemin de oluşturabilir. Ancak üretim firmalarının ülkemizde algılanan matematik ve matematikçi profili ile problemlerini matematiksel platforma taşımaları konusunda isteksiz tavır sergiledikleri gözlemlenmektedir. Buna rağmen endüstriyel matematik çalıştaylarının başarılı olması durumunda üretim firmalarının da yaklaşımlarının pozitif yönde değişebileceği tahmin edilmektedir.

Ülkemizde belirtilen işbirliğinin gelişimi için üniversiteler, ilgili akademisyenler ve ticaret ve sanayi kuruluşları el ele vererek, endüstrinin ihtiyaç duyduğu ve fakat Ar-Ge birimleri ile karşılayamadığı düzeydeki problemlerin çözümüne yönelik “know-how” desteği verebilirler. Kuralların teknoloji transfer edenler

tarafından değil, üretenler tarafından belirlendiği günümüz ekonomisinde belirtilen işbirliği zorunlu görülmektedir.

Ancak firmaların matematiksel öğeler içeren problemlerini belirleyerek, matematiksel platformlara taşınmalarını beklemek bu aşamada makul bir yaklaşım olarak görülmemektedir. Zaman zaman firma üretim süreci ilgili akademisyenler tarafından izlenerek, problemlerin belirlenmeye çalışılması bu aşamada gerekli görülmektedir. EM2010 Çalıştayında yukarıda bahsedilen TİSAŞ, Futbol Topu ve Tesisatçı problemleri bu yöntemle belirlenmiş problemlerdir.

Öteyandan EM2010 örneğinde üretim firmaları ve akademisyenlerin karşılıklı olarak işbirliği arzu etmelerine rağmen, iletişim sorunları ile karşılaştıkları gözlemlenmiştir. Söz konusu iletişim yetersizliğinde, firmaların akademisyenlerin uzmanlık alanları konusunda gerekli bilgiye sahip olmadıkları ve akademisyenlerin de üretim firmalarına ait üretim süreçlerini izleme alışkanlıkları gelişmediği için hangi noktada ve nasıl katkı sağlayabilecekleri konusunda aktif bir gayretin içerisinde olmadıkları görülmektedir.

Akademisyen katkısının öncelikle yeni araştırma konuları belirlenmesi olduğu, işbirliğinde akademisyenin beklentisinin maddi olmayıp akademik olduğu vurgulandığı taktirde karşılıklı güvenin oluşumu kolayca sağlanabilmektedir. Öte yandan üretim firmaları da akademisyenlerin ellerinde sihirli baston olmadığını, üzerinde çalışılan her problemin çok kısa bir sürede çözülemeyeceğini kabul etmeleri gerekmektedir. Firma beklentileri, başlangıçta yanlış yatırımların önlenmesi düzeyinde olmalıdır.

Kaynakça

- [1-2] Avner, F. How to start an Industrial Mathematics Program in the University, SIAM, 1993. Mathematics in Industrial Problems, Springer-Verlag, New York Inc. 1989.
- [3] Halvorsen, S. A, Rüzgar Türbini Problemi, ESGI73(12-16 Nisan, 2010), Matematik Bölümü, Warwick Üniversitesi, UK.
- [4] Güzin, U. Gizli Görüntülerin İletiminde Sır Paylaşma Şeması, Doktora Tez İzleme Raporu, KTÜ, Haziran 2010.
- [5] Şengül, S., Futbol Topu Yörünge Modeli ve Analizi, Yüksek Lisans Tez Çalışması, KTÜ, 2010.
- [6] Yazır, D., Black Scholes Opsiyon modeli için Lineer Regresyon Yaklaşımı, Yüksek Lisans Tez Çalışması, KTÜ, 2011.
- [7] Armour T. et al., Chauffeur Braking, ESGI68, European Study Group with Industry, Southampton, 2007, İngiltere.
- [8] Coşkun, E. ve Kwong, M.K., Blockcomm-PCN ile paralel programlama deneyimleri, 1997, Matematik ve Bilgisayar Bilimleri Böl., Argonne Ulusal Araştırma Merkezi, Şikago, İllinois, ABD.
- [9] Breward, C. et al. Perspiration modelling of the human foot, ESGI46(Bristol, UK, 2003).
- [10] Ali, M. et al. Scheduling of material through a steel plant, MISGSA(South Africa, 2004).
- [11] Cerdeira, J. Orestes et al., Scheduling in a factory, ESGI65(Porto).
- [12] Kuske et al., Automatic Detection of Egg Shell Cracks 1998, IPSW(Canadian Industrial Problem Solving Workshop)
- [13] Clive, M. and Philip, K. Optimal sorting of product into fixed weight packaging, 21st MISG, Auckland, 2004.
- [14] Mark, M., David, J. and Galkadowite, S. (2005) Modelling the physics of high speed product-weighing. MISGfastFruit05.
- [15] Pablo, C. et al. Models of consumer behaviour. ESGI49, Oxford, 29 Mart-4 Nisan 2004.
- [16] Coşkun, E. ve ark. EM 2010 (Uluslararası katılımlı Endüstriyel Matematik Çalıştayı Raporu KTÜ, Trabzon, 2010), URL:<http://aves.ktu.edu.tr/erhan/dokumanlar>