

Nicolaï, Bart M., Pieter Verboven, and Christine Franck. 2006. Section 8.1 Food and Raw Materials Storage and Processing, pp. 465-480 of Chapter 8 From Production to the User, in CIGR Handbook of Agricultural Engineering Volume VI Information Technology. Edited by CIGR-The International Commission of Agricultural Engineering; Volume Editor, Axel Munack. St. Joseph, Michigan, USA: ASABE. Copyright American Society of Agricultural Engineers.

Çevirmen: Türkan AKTAŞ

Çeviri Editörleri: Sefa TARHAN ve Mehmet Metin ÖZGÜVEN

## 8. Bölüm: Üretimden Kullanıcıya

### 8.1 Gıda ve Ham Maddelerin Depolanması ve İşlenmesi

Yazarlar: B. Nicolaï, P. Verboven ve C. Franck

Çevirmen: Türkan AKTAŞ

**Özet:** Bu bölüm tarımsal ürünlerin hasattan sonraki ve daha ileri düzeyde işlenmesi sırasında Bilgi Teknolojisinin (BT) nasıl kullanılacağını özetlemektedir. Üretim Kaynakları Planlaması (ÜKP) ve proses modellerini temel alan daha yeni teknikleri içeren gelişmiş planlama ve programlama teknikleri açıklanacak ve bir örnek ile örneklendirilecektir. Ayrıca proses kontrol sistemlerinin, Yönetim Yürütme Sistemleri (YYS)'ne nasıl dönüştüğü gösterilecektir. YYS, çoğu kez Tehlike Analizi Kritik Kontrol Noktalarını (HACCP, Hazard Analysis Critical Control Points) da kapsayan kalite kontrol yazılımlarını içermektedir. Bunlar günümüzde firmaların yönetim seviyesinde işleyen gerçek İşletme Kaynak Planlaması Sistemleriyle (İKPS) birleştirilmektedir. Günümüzde, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) gibi ileri simülasyon yazılımları da hasat sonrası ve gıda proseslerinin tasarımlarının optimizasyonu için mevcuttur.

**Anahtar Kelimeler.** Planlama, İş programlama, MİP, İKPS, YYS, HACCP, HAD, Gıda, Tarımsal ürün, Proses, İşletme, BT.

#### 8.1.1 Giriş

Bilgi teknolojisi genel olarak endüstride çok önemli hale gelmiştir ve fabrika üretim alanının yanı sıra yönetim ve lojistik alanında da uygulanmaktadır. Ancak tarım ve gıda işleme sektöründe BT uygulanması birçok nedenden dolayı zordur. Birinci engel, tarımsal ve gıda ürünlerinin sınırlı depolama ömrüdür ve bu yüzden büyük stoklardan kaçınılması ve hızlı stok rotasyonu zorunludur. Üstelik biyolojik materyallerin büyük değişkenlik göstermesi ve tedariklerinin iklim gibi kontrol edilemeyen faktörlere bağlı olması gerçeği, optimizasyon ve planlama gibi pek çok işlemi güçleştirmektedir. Ayrıca diğer pek çok endüstri dallarında prosesler basit montajları kapsarken, tarım gıda sektörü genellikle bileşenleri tamamen farklı bir ürüne dönüştüren karmaşık prosesleri de kapsamaktadır. Üstelik tarım gıda sanayisinde pek çok proses BT bakış açısından sürekli proseslerden daha karmaşık

olan kesikli (batch) işlemlerdir. Son olarak tarım gıda sanayisi oldukça çeşitlidir. Örneğin endüstriyel fırın, taze bahçe ürünlerinin paketlenildiği ticari paketleme tesislerinden çok farklıdır.

Gıda imalatçıları için geliştirilen yazılımlar, firma bünyesinde materyal, enerji ve finansal kaynakların akışlarını koordine ve optimize etmeyi amaçlamaktadır. Friend ve Thompson [1] gıda imalatını yönetmek için aşağıdaki yazılım araçlarını listelemektedir:

- *Gelişmiş planlama ve iş takvimi oluşturma sistemleri (GPİTOS)* işletmenin sınırlı üretim kaynaklarını dikkate alarak talep tahminleriyle ilgili üretimin optimizasyonuna yardımcı olmaktadır;
- *Üretim yürütme sistemleri (ÜYS)* fabrika üretim alanı bazında prosesleri ve bunların takibini otomatikleştirmektedir;
- *Laboratuar bilgi yönetimi sistemleri (LBYS)* kalite kontrol laboratuvarlarında veri akışını otomatikleştirmektedir;
- *İşletme kaynak planlama sistemleri (İKPS)* GPPS ve İUS sistemlerini birleştirmektedir;
- *Tedarik zinciri uygulama sistemleri (TZUS)* tedarik zinciri faaliyetlerini izlemekte ve yönetmektedir;
- *Ulaştırma yönetim yazılımı (UYS)* ham maddenin ve nihai ürünün taşınmasını denetlemekte ve optimize etmektedir;
- *Ürün yaşam döngüsü yönetim araçları (ÜYDYA)* gerçek bir ürün için bir pazarlama fikrinin geliştirilmesine yardımcı olmaktadır ve
- *İşletme uygulama entegrasyon sistemleri (İUES)* firma içerisinde, tedarikçilere ve müşterilere olan bilgi akışını otomatikleştirmektedir.

Bu üretim sistemlerine ek olarak, üretimle ilgili proses tasarımı, mühendislik ve optimizasyon için günümüzde pek çok yazılım mevcuttur. Bu bölümde depolama ve tarımsal ürünlerin işlenmesinde kullanılan en önemli BT bileşenlerine genel bir bakış verilecektir. Gıda üretim proseslerinin planlanması, üretimi ve tasarımı için kullanılabilecek olan BT çözümleri üzerinde durulacaktır.

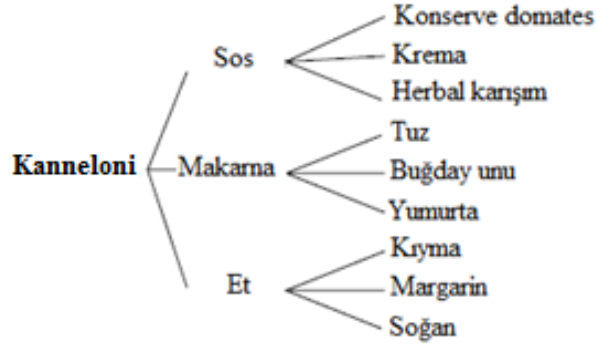
### **8.1.2 Gelişmiş Planlama ve İş Takvimi Oluşturma**

Planlama ve iş takvimi oluşturma, (1) imalat gereksinimlerinin planlanması ve işlenmemiş malzemenin satın alınmasını; (2) üretim kapasitesinin planlanmasını (işleme ekipmanının durumu); (3) üretim programlamasının detaylandırılmasını; (4) tarife yönetimini; (5) üretim izlemesini ve eğer gereksinim duyulursa yeniden programlamayı kapsamaktadır. Planlamanın çeşitli düzeyleri faaliyet alanlarına bağlı olarak ayırt edilebilmektedir.

*Stratejik plan* firma aktivitelerinin uzun vadeli planlanmasını kapsamaktadır. İş planları ve satış planlarının uzun vadeli üretim programlamasına dönüştürülmesiyle ilgilidir. Stratejik plan, kaynak gereksinimlerinin ve çok uzun teslimat süreli malzeme gereksinimlerinin planlanmasını sağlamaktadır. Stratejik plan, yeni

ekipman alımı, yeni personel alma ve yeni üretim tesisi kurma gibi yüksek sermaye gerektiren kararları içermektedir. Kararlar genellikle uzun vadeli talep tahminlerini temel alan firma yöneticileri tarafından alınmaktadır.

*Taktik planı* genellikle birkaç aylık bir dönemi kapsamaktadır ve *ana üretim programının* oluşturulmasını (AÜP) içermektedir. AÜP malların üretimini, üretim kapasitesini ve işlenmemiş malzeme alımını içeren tam bir programdır.



Şekil 1. Kanneloni'nin bileşimi.

*Operasyon planı* detaylı bir üretim programının oluşturulmasını içermekte ve genellikle günlerden haftalara kadar olabilecek kısa zaman dilimlerini kapsamaktadır. Operasyon planı; kesikli işlemler, materyal kabulü, nakliyesi, stok yönetimi, kısa vadeli sipariş değişimleri için envanter adaptasyonu, bakım planlaması, satın alma ve satıcının kontrolü vb. gibi materyallerin fiziksel kontrolünün programlanmasını içermektedir.

### ***Malzeme Gerekisini ve İmalat Kaynakları Planlaması***

*Bağımsız talep envanter sistemleri* gıda endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Böyle bir sistemde, müşteri talebinin nispeten değişmediği varsayılmaktadır. Envanter belirli bir eşik değerinin altına düştüğü zaman sistem otomatik olarak tedarikçiye sipariş vermektedir. Böyle bir sistem, envanter ani bir şekilde beklenenden daha fazla düştüğünde başarısız olabilmekte ve kısa süreli bir envanter sıkıntısına sebep olmaktadır. Bundan dolayı tahmin işlemleri pek çok yazılım paketinde birleştirilmiştir fakat bağımsız bir talep envanter sisteminin başarısı halen talebin tahmin edilebilirliğine dayandığı açıktır. Bağımsız talep envanteri sistemlerinin gıda üretim firmaları için daha da önemli bir diğer sakıncası ise özellikle çabuk bozulan ürünler olması durumunda bu sistemin tampon stoka dayanmasıdır ki bu maliyetli olabilmekte ve her zaman mümkün olmamaktadır.

Çoğu gıda, alt bileşenleri ve daha da ayrıntılı bileşenleri içeren gıda bileşenleri kullanılarak üretilmektedir. Şekil 1'de tipik bir İtalyan makarna ürünü olan kanneloni'nin içeriği tek malzeme düzeyine kadar gösterilmektedir. Kanneloni et ve domates sosu doldurulmuş boru makarnalardan oluşmaktadır. Sos; konserve domates, krema ve bitkisel baharat karışımından yapılmaktadır. Bu detaylandırma,

her bir gıda bileşeni için ayrıntılı gıda hammaddesi seviyesine kadar devam ettirilir. Burada gıda hammaddesi bu amaç için bir gıda bileşeni olarak tanımlanır ve dış tedarikçilerden satın alınır. Gıda ürünü bileşenleri ve gıda hammaddesi seviyesine kadar olan alt bileşenlerin tam listesi *malzeme listesi (ML)* olarak adlandırılmaktadır.

*Malzeme ihtiyaç planlaması (MİP)*, ML'yi dikkate alan ve ara ürünlerin tampon büyüklükleri gibi bağımsız talep envanter sistemlerinin ana sakıncalarından etkilenmeyen bir planlama metodudur. MİP algoritması aslında *ana üretim programı patlaması* olarak bilinen bir prosedüre dayanmaktadır. Diyelim ki belirli bir sipariş için tahsis edilmeyen kanneloni stoğunun yanı sıra, 8 günlük bir periyot için kanneloni sipariş programı bilinmektedir (Şekil 2a ve Şekil 2b). 8 günlük periyot için net kanneloni gereksinimi Şekil 2c'de gösterildiği gibi brüt kanneloni gereksinimi ve mevcut kanneloni miktarından saptanmaktadır. Örneğin 0. günde mevcut kanneloni (200 + 100 adet) miktarı ihtiyacı (100 adet) karşılamak için yeterlidir ve artan 200 parça bulunmaktadır. 1. günde mevcut kanneloni (200 adet 1. güne ait olan + 200 adet 0. günden kalan) miktarı halen gereksinim duyulan miktardan (300 adet) fazladır ve halen stokta 100 adet kalmaktadır. 2. günde 200 parça gerekmektedir yani net kanneloni ihtiyacı 100 parçaya eşittir. Çünkü bir defada üretilen miktar 200 parçadır ve bu miktar 2. günde hazır olmalıdır. Bu yaklaşık bir gün sürdüğünden dolayı üretim 1.gün için programlanmaktadır. Bu ise gerekli bileşenlerin (sos, makarna, peynir) 1. günde hazır olmasıyla mümkündür. İşletmede halen hazırlanmakta olduğu bilinen son alt bileşenlerin üretim başlangıç tarihine kadar bileşenlerinin her biri için bu prosedür yinelemeli olarak gerçekleştirilmektedir. Tedarikçinin iletme zamanı dikkate alınarak malzemelerin sipariş tarihleri hesaplanabilmektedir.

Orijinal MİP algoritması esasen materyal gereksinimleri için düşünülmüşken işgücü, makinalar, sermaye, satın alma, pazarlama ve nakliye gereksinimleri gibi üretim kapasitesinin planlamasına kolayca uyarlanabileceği kısa sürede fark edilmiştir. Böyle bir yaklaşım, orijinal MİP'den ayırt etmek için *üretim kaynakları planlaması (ÜKP)* olarak adlandırılmaktadır. ÜKP işlevselliğine sahip yazılımların pek çok çeşidi şu an marketlerde mevcuttur. Bu yazılımların pek çoğu gıda endüstrisinin farklı durumlarıyla baş edebilmek için kendine has özelliklere sahiptir. Söz konusu bu farklı durumlar; tek bir ham materyalden (örneğin piliçten; but, kanat, göğüs ve karaciğer gibi) birden fazla son ürün üretimi, gıdaların sınırlı saklanabilmesi, bir defada üretilen ürün yığınının bileşenlerinin paralel üretimi, ham maddenin sezona bağlı olarak bulunması olabilir [2].

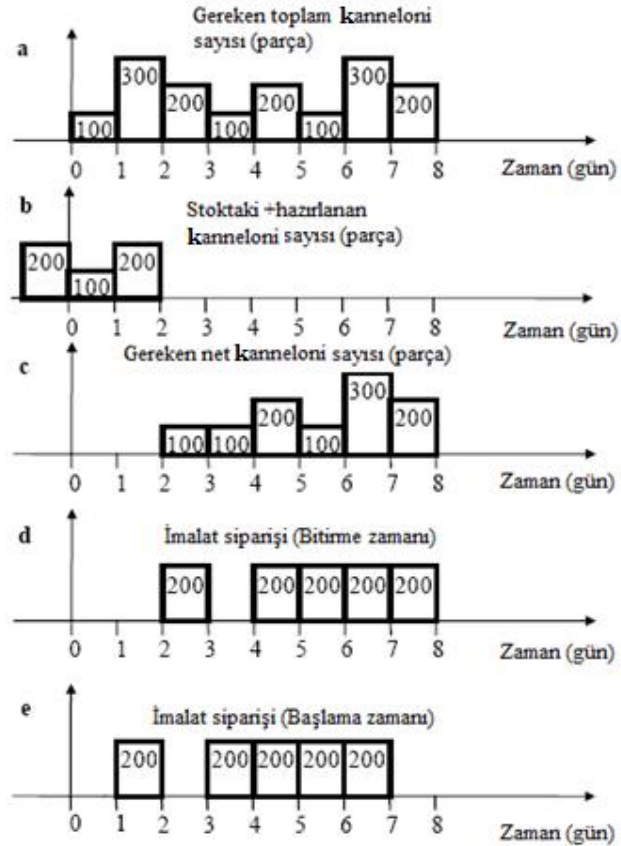
### ***İş Programlaması ve Lojistik***

İş programlaması, her bir ekipmanın kapasitesi göz önüne alınarak ve üretim planında belirtilmiş bitirme tarihi sınırlamalarını yerine getirme amacıyla işletmenin üretim alanında bulunan her bir ekipmandaki gerçekleştirilen işlemlerin sırasını

belirlemeyi içermektedir. Kimya ve gıda endüstrisinde kesikli işlemlerin planlamasında karşılaşılan zorluklara sebep olan faktörler şunları içermektedir [3]:

- Farklı ürünlerin imalatı arasında yapılması gereken temizleme işlemleri,
- Sınırlı ham madde ve üretim kapasitesi,
- Ekipman belirli parçalarını kullanarak belirli bir ürün yapımı için işletme tercihleri,
- Boyut ve yapım malzemeleri gibi ekipman kısıtlamaları ve
- Müşteri siparişlerine hızlı bir şekilde cevap verebilmek için stok düzeyi, mevcut depolama kapasitesi ve depolama maliyeti arasında uygun dengeyi bulmaktır.

Birden fazla üretim tesisi veya pek çok üretim işleminin barındıran büyük gıda üretim işletmelerinde iş takvimi oluşturmanın karmaşıklığı, farklı süreçlerin ve birim işlemlerin sayısı ile üssel (katlanarak) olarak arttığı için iş takvimi oluşturma yazılımları genellikle bu tür büyük üretim işletmelerine uygun olmaktadır. Doğrusal tamsayı programlama teknikleri kullanılmış olmakla beraber çoğu modern sistemler kural tabanlı sistemleri kapsamaktadır.



Şekil 2. Kanneloni üretim planının belirlenmesinde MIP prosedürü örneği ( [2]'den sonraki yayınlar).

ÜKP yazılımlarının dayandığı ML modeli tarımsal gıda endüstrisi için her zaman uygun olmayabilir. İlk olarak; özellikle taze üretilen ürünlerin taşınması ve işlenmesi gibi alanlarda genellikle çok kısa olan teslim süreleri, satışa hazır ÜKP yazılımlarında sağlanmayan çok kısa zaman tercihindeki değişimlerle baş edecek bir esneklik gerektirmesidir. Dahası ÜKP yazılımları; tarifin dengesini değiştiren gıda hammadelerinin farklı kalite sınıfları veya örneğin yemek pişirmede olduğu gibi belli bir süre sonrasında eklenmesi gereken malzemeler gibi konuların sıklıkla üstesinden gelememektedir. TROPOS (SSI, Basingstoke, İngiltere) gibi alternatif yaklaşımlar kısa vadeli planlama için bir proses modeline dayanmaktadır. Bu modelde her bir proses aşama, girdi ve çıktı materyalinin istediği kalite özelliklerinin yanı sıra girdi ve çıktılar (malzemeler, katalizörler, enerji, tesis ve işçilik süresi, makine, ayarlar, miktarlar, ürünler, yan ürünler, geri dönüşümlü malzemeler ve atıklar da dahil olmak üzere) tanımlanmaktadır. Süreç programlama daha sonra bu modele dayandırılmaktadır ve stok yönetimi bu üretim planının doğal bir yan ürünüdür. Aslında sistem dakik planlama yapmaktadır.

### **8.1.3 Üretim Yürütme Sistemleri**

#### ***Proses Kontrol***

Günümüzde tarım ürünleri ve gıdaların taşınması ve işlenmesindeki pek çok temel işlem bilgisayar kontrollüdür. Çoğu kimyasal proseslerin aksine çoğu gıda prosesleri kesikli süreçlerdir. 1995 yılında Uluslararası Ölçme ve Kontrol Birliği (the International Society for Measurement and Control) S88.01 Kesikli Kontrol Standardını yayınladı (önceki standart kodu: SP88). Bu standardın amacı proses kontrol endüstrisinde kullanıldığı şeklide kesikli kontrol sistemlerinin tasarımı ve teknik özellikleri için standartları ve önerilen uygulamaları belirtmektir. Standardın 1. bölümü süreçleri ve ekipmanları, tarifleri içeren kesikli kontrol kavramlarını ve ekipmanları ve kontrol kavramlarını birbirine bağlayan kesikli kontrol faaliyetlerini ve işlevlerini kapsamaktadır. 2. bölüm kontrol faaliyet modelinde tanımlanan ilişkileri ve veri modelleme yoluyla bu faaliyetler arasında geçen veriyi ayrıntılı olarak tanımlamaktadır. Standardın işleme endüstrisinde kullanımı giderek artmaktadır fakat gıda işleme endüstrisindeki, Unilever ve Nestle gibi sadece büyük şirketler kesikli sistemleri bu standarda adapte etmişlerdir [4].

Gıda işleme endüstrisinde kontrol sistemleri uygulamasında farklı yaklaşımlar uygulanmaktadır. Dağınık kontrol sistemi (*DKS*) proses kontrolü için kullanılan ve ana bir bilgisayarda çalışan entegre edilmiş yazılım ve donanım ortamı sağlamaktadır. Tipik olarak bir DKS herkesin erişebileceği girdi/çıktı noktaları için küresel bir veri tabanına sahip olacaktır. Bu girdi/çıktı noktaları etiket olarak adlandırılmaktadır ve üretim katındaki bir cihaza veya o anda anlamlı bir ad verilen bazı dahili DKS değişkenlerine eşleştirilebilmektedir. Bu şekilde cihazlara bu ad ile kolaylıkla erişilebilmekte ve operatör veya mühendis cihazın güncel detayları ile ilgili bilgilere ihtiyaç duymamaktadır. Basit PID kontrolünden gelişmiş uyarlamalı

kontrole kadar değişen geniş bir aralıkta kontrol algoritmaları tipik olarak sağlanmakta ve kontrol mühendisi sadece ayarlama parametrelerini tanımlaması gerekmektedir. Genellikle birçok operatör ara yüzü kontrol odasının yanı sıra üretim katına yüklenmektedir. Tipik DKS tedarikçileri Emerson Process Management—Fisher Rosemount (Baar, İsviçre) ve Honeywell (Morristown, New Jersey, ABD)'dir.

Alternatif bir yaklaşım programlanabilir mantık kontrolörlerin (PLC) ve kullanıcı dostu bir insan ara yüzünün kombinasyonudur. PLC üretim ekipmanına direkt bağlanabilen bir donanım kontrol cihazıdır. Çeşitli kontrol algoritmaları genellikle sağlanmaktadır. Böyle bir sistemin avantajı PLC'nin, bazı DKS kurulumlarını yetersiz bırakabilen kesikli imalatlar için çok yüksek hızlı Girdi/Çıktı operasyonlarını idare edebilmesidir. Ayrıca bir PLC uygulaması genellikle bir DKS'den daha ucuzdur. Bununla birlikte, tipik bir DKS genellikle daha kararlı ve güvenilirdir ve genelde üretim yürütme sistemi gibi işletme ölçekli BT sistemlere daha kolay entegre edilebilmektedir. Tipik PLC tedarikçileri Siemens AG (Münih, Almanya) ve ABB'dir (Zürih, İsviçre).

PC tabanlı sistemler günümüzde genellikle gıda işleme faaliyetlerinin kontrolü için de kullanılmaktadır. Sistem bir data toplama ve genelde PC kart gibi özel veri edinim donanımı ile kombine edilmiş Labview (National Instruments, Austin, Texas, ABD) gibi kontrol paketini içermektedir. Bu tür sistemler çoğu kez bilgilerin toplanması, girilmesi ve raporlanmasını amaçlayan denetleyici kontrol ve veri toplama paketleri ile (SCADA, Supervisory Control and Data Acquisition) kombine edilmektedir. PLC'ler ile arabirim oluşturmak için kütüphaneler genellikle mevcuttur. ABB Scada Portalı (Zürih, Switcersland) gibi modern SCADA paketleri geniş bir işlevselliğe sahiptir. Bu işlevsellikler arasında veri tabanı sistemleri, PLC'ler ve operatörler ile iletişim, tarifli uygulama ve raporlama çoğu kez bir PC ortamında çalışma sayılabilir. PC çözümü DKS veya PLC çözümleri ile karşılaştırıldığında genelde ucuz olmasına rağmen daha az güvenilirdir ve dolayısıyla kritik proses kontrol işlemlerinde daha az sıklıkta kullanılmaktadır.

### ***Kalite Kontrol Sistemleri***

Tarımsal gıda sektöründe kalite çok önemlidir. Bu sektör, ürünlerin kalitesinin üretimi ve tüketici tarafından satın alınması arasında geçen sürede önemli miktarda değişebileceği birkaç sektörden birisidir. Ayrıca son gıda krizlerinden dolayı izleme ve tarladan çatala kadar izlenebilirlik son derece önemlidir. Tehlike Analizi ve Kritik Kontrol Noktaları (HACCP) ürün güvenlik risklerinin tanımlanması ve kontrolü için kullanılan bir metodolojidir. HACCP uluslararası kabul görmektedir ve birçok ülkede zorunludur. Avrupa Birliği'nde 93/43 direktifi ile zorunlu tutulmaktadır. HACCP gıda güvenliği risklerinin tanımlanması, değerlendirilmesi ve kontrolünü yapan sistematik bir yaklaşımdır. Oluşan sorunların önlenmesi herhangi bir HACCP benzeri sistemin altında yatan en önemli hedefdir. Bu sistemler daha çok ürünün güvenliğini etkileyecek proses bölümleri üzerine odaklanmaktadır [5]. HACCP

uygulanması normalde Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) Gıda Kodeksi (Codeks Alimentarius) gibi gruplar tarafından resmileştirilmiş yedi esas açısından tanımlanmaktadır (www.fao.org):

- Gıda üretimi ile ilişkili olan potansiyel tehlike(leri) bunların kontrolü amacıyla her aşamada tanımlamak için bir risk analizi yapmak,
- Kritik kontrol noktalarını (KKN)* belirlemek: tehlikeleri elimine etmek veya meydana çıkma olasılığını en aza indirmek için kontrol edilebilen noktaları, prosedürleri veya operasyonel aşamaları belirlemek,
- Kontrol altına alınmış KKN'yi sağlamak zorunda olan kritik limitleri oluşturmak,
- KNN'nin kontrolünü izlemek için bir sistem oluşturmak,
- Monitörden izleme sırasında belli bir KNN'nin kontrol altında olmadığı gösterildiğinde alınacak düzeltici eylemi oluşturmak,
- HACCP sisteminin etkin çalıştığını onaylamak için doğrulama prosedürlerinin oluşturulması ve
- Bu ilkelere ve bunların uygulamasına uygun tüm prosedürler ve kayıtlarla ilgili belgelenmeleri oluşturmak.

Halen ABD'de et, kümes hayvanları ve deniz ürünleri endüstrisinin dışındaki her endüstri diliminin üçte ikisinden çoğunda gönüllü olarak HACCP uygulanmakta olduğu tahmin edilmektedir [6].

Bir HACCP planının uygulanması büyük bir yönetsel çabayı gerektirmektedir. Bu yükü azaltmak için pek çok yazılım paketi bulunmaktadır. Buna iyi bir örnek CCFRA'nın HACCP dökümantasyon yazılımıdır (Chipping Campden, İngiltere, www. Campden. co.uk).

### **Üretim Yürütme Sistemleri (ÜYS)**

*Üretim yürütme sistem (ÜYS)* çözümleri fabrika çapında otomasyon programlarının bir sonraki mantıklı adımıdır [7]. ÜYS; proses kontrolü ile ÜKP arasında bir kontrol seviyesi sağlamakta ve materyal, ekipman, personel, proses talimatları ve tesisleri içeren tüm tesis kaynaklarına hitap etmektedir. Bütünleşmiş ÜYS tipik olarak bir *ilişkisel veri tabanı yönetim sistemini (İVYTS)*, uygulama geliştirme için *bilgisayar destekli sistem mühendisliği (BDSM)* araçlarını, bir doküman yönetim sistemini ve işletmedeki diğer BT sistemleri için arayüzleri içermektedir. Genellikle iş takvimi oluşturma, denetimsel izleme ve kontrol ve kalite yönetimi de sağlanmaktadır.

### **8.1.4 Laboratuvar Bilgi Yönetim Sistemi (LBYS)**

*Laboratuvar bilgi yönetim sistemleri (LBYS)*, laboratuvar işlemlerinin optimize edilmesi ve yayılması için bilgi teknolojisinin uzmanlaşmış uygulaması olarak tanımlanan laboratuvar bilişimine bir örnektir. LBYS, hızlı araştırma ve geri kazanım için büyük bir veri koleksiyonunu kaydetmek ve düzenlemek amacıyla özellikle Ar-



Ge ve kalite güvence laboratuvarlarını da kapsayan analitik laboratuvarlar için özel olarak tasarlanmaktadır [8-9].

LBYS bir veya birden fazla çalışma istasyonlarından veya kişisel bilgisayarlardan veri toplamak amacıyla kullanılan analitik cihazlara bağlanmaktadır ki bu cihazlarda veriler anlamlı bilgiler ve çeşitli rapor formatları halinde düzenlenmektedir. Sadece analiz edilen verilerin kullanıldığı veri tabanlarının aksine LBYS; biyolojik kaynaklar, yönetim (personel), örnek toplama, hazırlama vb. gibi veri toplamanın erken aşaması hakkında ek bilgileri (üst veri) içermektedir.

Başlangıçta LBYS, veri toplama ve raporlama süreçlerini kolaylaştırmak isteyen kuruluşlar tarafından kendi bünyelerinde geliştirildi. Kuruluş bünyesinde geliştirilen bu LBYS'ler isteğe göre yapıldıklarından uygulama için önemli zaman ve kaynak gerektirebilmekteydi. Bu özel yapılmış LBYS uygulamalarına paralel olarak ilk ticari LBYS ürünleri 1980'lerde oluşturuldu. Bu tür ticari LBYS'ler genellikle analitik araç üreticileri tarafından geliştirilmiş tescilli sistemlerdi. Günümüzde pek çok LBYS, müşteri/sunucu hizmeti sunabilmek ve işletme çapında laboratuvar bilgilerine erişimi sağlamak için platformlardan faydalanmakta ve oldukça esnek bir kullanıma sahiptir. İnternet tabanlı LBYS'ler de bulunmaktadır, örneğin KODAK nükleer manyetik rezonans grubu kendi intranetleri üzerinden internet tabanlı bilgi yönetim sistemini kullanarak bağımsız bir tartışma ortamı uygulaması yapmak için internet teknolojisini kullanarak spektroskopi kökenli bilgilere dünya çapında erişim sağlamıştır [10].

ThermoLabsystems (İngiltere) dünyanın önde gelen LBYS tedarikçilerinden biridir. Son zamanlarda, bu firma ISO9001/TickIT standartlarına uygun olan ve özellikle Microsoft Windows® 95/98, NT ve 2000 işletim sistemleri için tasarlanmış Nautilus LIMSTM sistemini geliştirdi [11]. Nautilus kullanıma hazır bir paket programdır ve %30 pazar payı ile Avrupa'nın pazar lideri olan İngiltere'nin en büyük yoğurt üreticisi Molkerei Alois Müller tarafından ham madde ve mamul sütü tatlıların kalite kontrol verilerini yönetmek amacıyla seçilmiştir [12]. Sistem üretim proseslerinin gerçek zamanlı izlenmesine yardımcı olmakta ve mamul ürünlerin kalite kontrolünün sağlanmasında önemli bir rol oynamaktadır. Nautilus'un kullanılmasıyla evrak işleri çok büyük oranda azaltılmakta ve test hızlandırılmaktadır. Bütün veriler hakkındaki eğilimleri tespit edebilme yeteneği, şirkete laboratuvar verimliliğinde gerekli iyileştirmeler yapmak için fırsat vermektedir.

### **8.1.5 İşletme Kaynak Planlama (İKP) Sistemleri**

2001'de yapılan bir anket, çok sayıda gıda üreticisinin kendi BT sistemleri ile kendi üretim sistemlerinin entegrasyonu için tahsis ettikleri kaynaklar ile kendi farklı BT sistemlerini birbirine entegre ederken tahsis ettikleri kaynakların neredeyse aynı olduğunu gösterdi [13]. Bu gibi entegrasyon girişimlerinin kapsamı iki veya daha fazla farklı işlevin entegrasyonu ile sınırlı olabilmektedir. Örneğin, günümüzde çoğu

ÜKP yazılım paketleri bir iş takvimi oluşturma programı da içermektedir veya diğer tedarikçilerden iş takvimi oluşturma paketleri ile arayüz oluşturabilmektedir. Ancak son zamanlarda firmalarda çoğu lojistik BT işlemlerinin tamamen entegrasyonuna yönelik bir eğilim olmuştur. Bu gibi sistemler *İşletme Kaynak Planlama (İKP)* sistemleri olarak adlandırılmaktadır. Bundan başka, son ISA-S95 standardı, DKS ve SCADA gibi kontrol sistemleri ile İKP sistemlerinin entegrasyonunu hedeflemektedir [14]. Ayrıca bir çok İKP sistemi satıcısı XML standardı sayesinde bilgi alış verişi için web teknolojisini kullanmaya başlamaktadır.

TROPOS (SSI, Basingstoke, İngiltere) İKP çözümü farklı gıda şirketlerinde uygulamaya konmuş olan ve özellikle hızlı tepki üretim işlemlerinde hedeflenen entegrasyon sistemine bir örnektir. Bu sistem tipik bir ML tabanlı İKP yaklaşımından daha çok bir proses modelini temel almaktadır. Bu sistem; mali defterler, talep tahmini, gelişmiş planlama ve iş takvimi oluşturma, envanter optimizasyonu, ihracat belgeleri ve diğer pek çok işletme fonksiyonları için öğeleri içermektedir. Bir veri kayıt ekipmanı üreticisi ile yapılan bir ortaklık, planlama ve kontrol sistemlerine üretim alanının verilerini anlık aktarmayı mümkün kılmaktadır. Böylece, doğru teslimat vaatlerini gerçekleştirebilmek için anlık bilgi temin etmek yoluyla büyük yararlar ve oldukça detaylı kalite kontrol verilerini kaydetmeyi sağlamaktadır. Aynı şirket, İKP sistemi ile arayüz sağlayabilecek bir SCADA yazılım ürününe de (SSI-DACS) sahiptir.

Birçok İKP ve YYS satıcısı kendi süreç kontrol yazılımları ile HACCP yazılımını ilişkilendirmişlerdir [15]. KKN izlemesinin süreç kontrol sistemi tarafından gerçekleştirilmesi ve bu bilginin HACCP yazılımı ile paylaşılması esastır. Genellikle, kalite kontrol laboratuvarının LBYS yazılımı ile sıkı entegrasyon da sağlanmaktadır. CSB-System (Geilenkirchen, Almanya) ve Nicheware Systems (Birmingham, Atlanta, ABD) örnek olarak gösterilebilir.

### **8.1.6 Süreç Tasarım Yazılımları**

#### ***Bilgisayar Destekli Gıda Süreç Tasarımı***

Bilgisayar destekli gıda süreci tasarımı bilimsel literatürde yıllardır savunulmasına rağmen, pratikte ancak son zamanlarda uygulanmıştır. Bu, bilgisayar destekli süreç tasarımının yıllardır kullanıldığı kimyasal süreç sektöründen oldukça farklıdır. Bu farklılık birçok faktörden kaynaklanmaktadır. Kimyasal süreç endüstrisinde çoğu süreçler *sürekli* modda yürütülmektedir ve büyük ürün miktarlarını kapsamaktadır. Meydana gelen reaksiyonlar tipik olarak nispeten basittir ve aynı zamanda sadece birkaç bileşeni içermektedir. Ayrıca, reaksiyon kinetikleri genellikle iyi anlaşılmaktadır ve ilgili ürünlerin fiziksel parametreleri bilinmektedir. Tersine gıda sektöründe kesikli işlem modu üretimin en önemli modudur. İlgili ürünler çoğu zaman karmaşık gıda maddeleridir ve büyük bir miktarda gıda hammaddelerini ve ara prosesleri kapsamaktadır. Reaksiyon kinetiği çok karmaşıktır

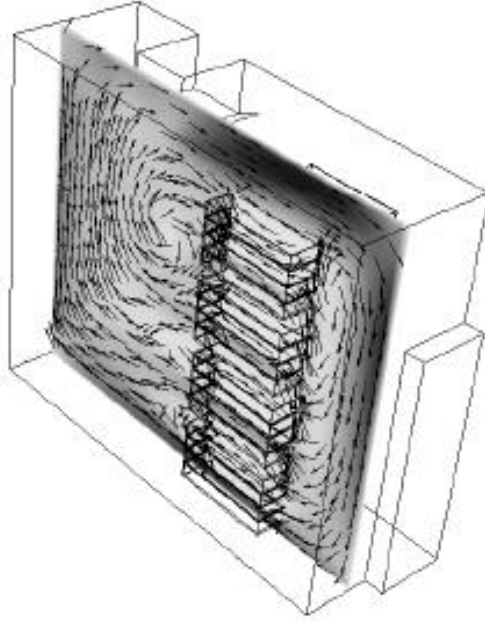
ve çoğu kez bilinmemektedir ve farklı kesikli işlem arasındaki fiziksel parametreler çok değişkendir ve genellikle bilinmemektedir.

Gıda süreçlerinin endüstriyel tasarımı; biyokimya, süreç mühendisliği, mikrobiyoloji, ısı ve kütle transferi, matematik vb. gibi bilimin çeşitli dallarına dayanan son derece özelleşmiş bir alan olarak gelişmiştir. Bu karışık tasarım görevini kolaylaştırmak için geçmişte yazılım geliştirmeye yönelik çeşitli girişimler yapılmıştır. Isısal (termal) gıda süreçleri alanında bazı önemli ilerlemeler aşağıda tanımlanacaktır.

Termal sterilizasyon süreçlerinin tasarımı iyi bilinmektedir ve sterilize edilecek gıdada ısının penetrasyon analizini ve mikroorganizmaların termal inaktivasyon kinetiklerini temel almaktadır. İletim yoluyla ısıtılan gıdalar için kutu içerisindeki sıcaklığı tahmin etmek amacıyla bir matematiksel modelin (Fourier denklemi) kullanımı gerçek sıcaklık ölçümlerine esnek bir alternatif olarak önerilmiştir. Ne yazık ki, analitik çözümler sadece ürüne özgü geometrik şekiller (dilim, küre, silindir), sıcaklıktan bağımsız termodinamik özellikler ve kısmen basit sınır şartlarını kapsayan nispeten basit problemler için bilinmektedir. Bu nedenle, Teixeira ve ark. [16] Fourier denklemini sonlu farklar yöntemi kullanarak sayısal olarak çözmeyi ve sayısal integralleme yoluyla süreç letalitesinin hesaplanması için bir girdi olarak hesaplanmış merkez sıcaklığını kullanmayı önerdi. Bu, bilgisayar destekli gıda süreç tasarımı yazılımının ilk örneklerinden biri olarak kabul edilmesi gereken bir programda uygulanmıştır. Diğer bir gelişme ise, gereken süreç değeri korunurken tiamin kalıntısını maksimize etmek için zamanla değişen damıtıcı sıcaklık profillerinin kullanılması olarak kabul edilmesidir [17]. Sonuçta bu, sterilizasyon süreçlerinin bilgisayar destekli tasarımı için STERILMATE yazılım paketine öncülük etmiştir [18]. Daha ayrıntılı bilgisayar destekli optimizasyon prosedürleri [19] ve [20]'de anlatılmıştır.

*Hesaplama akışkanlar dinamiği (HAD)* kullanarak konservelerin konveksiyon ısıtılmasındaki bu yaklaşımı genişletmek için ilk girişimler [21] ve [22]'de açıklanmıştır. HAD bilgisayarda çözülen bir matematiksel model yardımıyla akışkan akışının simülasyonudur. HAD, sıvı gıdaların sürekli sterilizasyonu [23,24] ve sıcak hava vasıtasıyla fırınlarda gıdaların ısıtılması [25,26] gibi diğer gıda proseslerinde de karşılaşılan akış sistemlerindeki ısı ve kütle transferini simüle etmede bir temel olarak hizmet vermektedir. HAD soğuk hava depolarındaki yığın halde bulunan gıdaların hava ile soğutulması gibi soğutma uygulamalarında aynı şekilde uygulanmaktadır [27-31]. Soğuk bir depoda hava akışının HAD hesaplamasına bir örnek Şekil 3'de gösterilmiştir. Son on yılda, HAD paketleri kullanıcı dostu olması, çok yönlülük ve çoğu bilgisayar platformunda çalışabilecek olan interaktif yazılım ortamı açısından gelişmiştir. HAD artık havacılık alanından otomotive sektörüne, biyomedikal mühendisliğinden meteorolojiye, gıda endüstrisinden kimyaya kadar pek çok alandaki akışkan akış proseslerinin tasarımı, maliyeti ve tasarım aşamalarını azaltmak için kullanılan bir mühendislik aracı haline gelmiştir. Halihazırda

geliştirilen bazı uygulamalar karmaşık işlemler için HAD’i çok güçlü kılmaktadır. Bu uygulamalar nesnelerin geometrileri CAD aktarma uygulaması vasıtasıyla yüksek çözünürlükle simüle edilebilmesi (son nesil bilgisayar kodları ile) ve bilgisayar görüşü sistemlerinin HAD kodlarının ön işleme modülleri ile kombine edilmesiyle gerçek gıda şekillerinin tanımlanabilmesidir.



Şekil 3. Soğuk havalı depolamada hız büyüklüğü (gölgelendirilmiş hatlar) ve  $z=0.9$  m düzleminde akış yönü (oklar) .  $0-2 \text{ ms}^{-1}$  hız aralığı sırasıyla beyaz ve siyah kısımlara karşılık gelmektedir. Nahor ve ark. [31], *International Journal of Refrigeration*’da yeniden yayınlanmış olan ”Soğuk depolarda hava akışı, ısı ve kütle transferinin HAD modellemesi”, p. p. 376. Copyright 2005, Elsevier izni ile.

İlave fiziksel modellerin geniş bir yelpazesi HAD paketlerinde mevcuttur. Gözenekli ortamda, partiküller içerisindeki hava veya akışkan boşluklarının detaylı bir geometrik modeli genellikle mümkün değildir ve ağ (mesh) hacimleri en küçük boşluk büyüklüğünden daha büyük olacaktır. O halde gözenekli ortam içinde olan karmaşık akışın, yüzeysel (süperfişyal) akışkan hızı ile yığın materyalin içindeki basınç düşümünü ilişkilendiren deneysel bir model kullanarak yüzeysel bir ölçekte temsil edilmesi gerekmektedir. Bu, yığın haldeki gıdalara uygulanmıştır ( [32,33]’de örnekler mevcuttur). Sıvı katı gıdalar sıvının akışını etkileyen partiküller içermektedir [34]. Bu parçacıklar daha sonradan sürekli (Euler) ya da kesintili (Lagrange) modeller kullanılarak tanımlanabilen ayrı bir faz olmaktadır. Havadaki sıvı damlacıklarının yayılımı [35,36]’da modellenmiştir.

HAD, temel korunum yasalarına, Navier Stokes denklemlerine dayandığı için süreç tasarımı ve optimizasyonu için çok yönlü bir araç sunmaktadır. Modeller daha çok deneysel özellikleri içerdikçe, simülasyonlar çok yönlülüğünü daha çok kaybetmekte ve doğrudan bir uygulamadan diğerine doğrudan transfer

edilememektedir. Modellerdeki parametreler daha fazla fiziksel anlam taşıdıkça (termo fiziksel akışkan özellikler gibi), geniş bir aralıktaki süreçlere uygulanabilecek şekilde daha fazla evrensel olmaktadır. Gıdaların fiziksel özelliklerinin çok değişken olduğu ve her zaman iyi belgelendirilmedikleri önceden belirtilmişti. Belirsizlik açısından bakıldığında, gıda süreç tasarımı yazılımları belirsizliğin daha az ele alındığı bir faktör olduğu diğer disiplinlerden türediği için genel olarak eksik özelliklere sahiptir. Bilgisayarların hesaplama gücü ile hızlı ve doğru sayısal çözüm algoritmaları, gıda üretim ve işlenmesi de dahil olmak üzere geniş yelpazedeki endüstrilerde HAD'in başarısının temelini oluşturmaktadır [37,38]. HAD bilgisayar kodları problemi adım adım tanımlamaya ve analizine izin veren kullanıcı dostu masaüstü arayüzler sunmasına rağmen, oldukça deneysel olan yaklaşımların ve mevcut modellerin doğruluğunu değerlendirecek yeterli beceriye kullanıcı sahip olmalıdır.

Gıda endüstrisi zaman sıcaklık dağılımının hesaplanmasından daha çok kalite ve mikrobiyal değişimlerle ilgilenmektedir. ChefCad yazılımı [39-41] gıda tariflerinin tanımlanmaya ve gıdaların mikrobiyal kalitesinin yanısıra organoleptik kalitesi üzerine ısıtma ve soğutma gibi temel işlemlerin etkisini simüle etmeye yönelik bir ortam sağlamak amacıyla geliştirilmiştir. Bu yazılım iki boyutlu ısı iletim problemlerinin sayısal çözümü için sonlu eleman rutinlerini, bir sonlu eleman ızgara (grid) oluşturucuyu, gıdanın kimyasal bileşiminden yararlanarak termofiziksel özelliklerinin hesaplanması için rutinleri, akışkanın ısıtılması/soğutulmasında yüzey ısı transfer katsayısının hesaplanması için rutinleri, mikrobiyal gelişme/inaktivasyon ve tekstür değişimleri için diferansiyel denklem çözümleri içermektedir. Bu ayrıca tarifin mikrobiyal güvenlik teşhisi için uzman bir sistem içermektedir. Konveksiyon, radyasyon ve mikrodalga ısıtmayı da içeren daha karmaşık ısı ve kütle transfer süreçleri içinde bu işlevselliğin geliştirilmesi hala başlangıç düzeyindedir.

### ***Akış Şemalandırma***

Akış şemalandırma yazılımlarının temel amacı, karmaşık kimyasal süreçlerin işlenmesi sırasında kararlı haldeki materyali ve enerji dengelerini modellemektir. Bu model daha çok bazı süreç koşullarının değişiminin sürecin ürün verimi, atık üretimi ve enerji tüketimine etkilerini değerlendirerek süreç optimizasyonu için kullanılmaktadır. Aslında çoğu akış şemalandırma yazılımları, bir dil transdüser veya derleyici, bir malzeme özellikleri veri tabanı, distilasyon kolonu, ısı değiştiriciler vb. gibi farklı temel işlemler için modeller, bir hesaplama rutini, optimizasyon algoritmaları ve raporlama imkanlarından oluşmaktadır.

Şimdiye kadar gıda endüstrisinde akış şemalandırmanın kullanımı sınırlı olmuştur. Drown ve Petersen [42] GEMS yazılımını kullanarak çeşitli akış şemalandırma örneklerini anlatmaktadır. GEMS yazılımı [43] aslında kağıt ve kağıt hamuru endüstrisi için geliştirilmiştir. Bu yazılım, kağıt ve kağıt hamuru endüstrisi için temel işlemleri tanımlayan bir çok bloktan oluşmakta, blokları bağlamak ve

uygun kayıtları tutmak için bir yürütücü program içermektedir. İlk örnekte, meyve suyu çıkarma sırasında portakaldan kabuk yağının geri kazanımı simüle edilmiştir. Alternatif planlar orijinal planda karşılaşılan işletme problemlerini minimize etmek için karşılaştırıldı. İkinci örnekte, patates haşlama sürecinin performansı, enerji tüketimini en azda tutarken şeker içeriğini kontrolü için optimize edilmiştir. Üçüncü örnekte, tekli ve çoklu bölge kurutma sistemleri, üretim kapasitesinin artırılmasıyla ve ürün tekdüzeliğinin geliştirilmesi ile enerji tüketiminin düşürülmesi amacıyla optimize edilmiştir.

Batch Process Technologies (Purdue, Indiana, ABD) firması tarafından geliştirilen BATCHES; kullanıcıya tipik olarak biyokimya, gıda, ilaç ve özel kimya endüstrilerinde bulunan çok ürünlü kesikli/yarı sürekli süreç modellerini kurmak için imkan vermek üzere tasarlanmış olan bir simülasyon sistemidir. Tipik uygulamalar içecek üretim tesislerinin tasarımı ve iş takvimlerinin oluşturulması, süt işleme süreçlerinde enerji entegrasyon alternatiflerinin değerlendirilmesi vb. gibi uygulamaları içermektedir.

Kesikli olay simülasyon yazılımları şişelerin doldurulması hattı gibi pek çok kesikli işlemin yapıldığı üretim hatlarının simülasyonu için popüler hale gelmektedir. Bunlardan en başarılılarından biri WITNESS yazılımıdır (Lanner, Redditch, İngiltere). Bir bilgisayar ekranında işaretleyerek ve tıklayarak üretim hattı sezgisel olarak birleştirilebilir. Kesikli/sürekli elemanların bir karışımı kullanılabilen ve otomatik performans raporlaması sağlanmaktadır. Çoğu uygulamalar otomotiv, elektronik ve ilaç sektörlerinde yer almasına karşın WITNESS örneğin bir bira fabrikasında, yeni bir filtre ve kutulama hattı kurma ihtiyacını değerlendirmek amacıyla gıda sektöründe başarıyla kullanılmıştır. Nahor ve ark. [44] kontrollü atmosfer soğuk oda depolama sistemlerine yönelik bir kesikli/sürekli zaman modeli geliştirdi. Bu model soğuk oda, soğutma sistemi ve gaz dağıtım ünitesi olmak üzere üç üniteye sahip süreçlerin geçici (transient) davranışını tahmin etmek için birbiriyle etkileşimde olan üç alt modelden oluşmuştur. Modüller bir nesne odaklı kesikli/sürekli zaman hesaplama ortamında uygulanmıştır (EcosimPro, Madrid, İspanya). Kesikli/sürekli olayların ele alınması pratik operasyonel prosedürlerin uygulamasını ve ürün kalitesi ve tesis performans/tasarım üzerine bunların direkt etkisinin araştırılmasını mümkün kılmıştır.

### **8.1.7 Sonuçlar**

Bilgi teknolojisinin hızlı büyümesi tarımsal ürünlerin ve gıdaların değerlendirilmesi ve işlenmesinde devrim yaratmıştır. Günümüzde BT, üretim alanından yönetim ofisine kadar şirketin tüm düzeylerine girmiştir. Açıkçası BT sistemlerinin karmaşıklığı buna paralel olarak artmış ve BT günümüzde dikkatli bir şekilde planlanması gereken önemli bir sermaye yatırımı olmuştur. Hatta gelecekte bütün BT işlevleri arasında daha sıkı bir entegrasyonun gerçekleşeceği kolaylıkla öngörülebilmektedir.

## Kaynaklar

1. Friend, B., and O. Thompson. 2003. The essential guide to manufacturing software. Food Engineering, 16/04/2003. Accessed on June 17, 2003, from <http://www.foodengineeringmag.com>.
2. Nicolai, B. M. 1996. Computer Integrated Manufacturing in the Food Industry, ed. G. Mittal. New York, Basel, Hong Kong: Marcel Dekker, Inc.
3. Sawyer, P. 1993. Computer-Controlled Batch Processing. Rugby, UK: Institution of Chemical Engineers.
4. Higgins, K. T. 2003. Better control of batch. Food Engineering. Accessed on March 30, 2003, from <http://www.foodengineeringmag.com>.
5. FAO. Accessed on July 25, 2003, from <http://www.fao.org/docrep/w8088e/w8088e00.htm>.
6. Morris, E. 2003. HACCP integrations. Food Engineering. Retrieved on March 22, 2003, from <http://www.foodengineeringmag.com>.
7. Deuel, A. C. 1994. The benefits of a manufacturing execution system for plant wide automation. ISA Transactions 33(2): 113-124.
8. Limsources. <http://www.limsources.com/intro.html>.
9. Leung Y. F. [http://ihome.cuhk.edu.hk/~b400559/arraysoft\\_database.html](http://ihome.cuhk.edu.hk/~b400559/arraysoft_database.html).
10. <http://www.elsevier.nl/homepage/saa/trac/wimsarti.htm>.
11. Thermo LabSystems. <http://www.labsystems.com/products/nautilus>.
12. Laboratorytalk. <http://www.laboratorytalk.com/news/the/the103.html>.
13. Morris, E. 2003. HACCP under the microscopy integrations. Food Engineering. Accessed March 30, 2003, from <http://www.foodengineeringmag.com>.
14. Verwater-Lukszo, Z., M. E. van Wissen, and F. Verhofstad. 2003. Improved integration of enterprise and control level with combining ISA batch standards and process models. Focapo 2003.
15. Morris, C. E. 2003. HACCP Integrations. Food Engineering. Accessed on June 17, 2003, from [www.foodengineering.com](http://www.foodengineering.com).
16. Teixeira, A. A., J. R. Dixon, J. W. Zahradnik, and G. E. Zinsmeister. 1969. Computer optimization of nutrient retention in thermal processing of conductionheated foods. Food Technology 23(6): 137.
17. Teixeira, A. A., G. E. Zinsmeister, and J. W. Zahradnik. 1975. Computer simulation of variable retort control and container geometry as a possible means of improving thymine retention in thermally processed foods. J. Food Science 40: 656.
18. Kim, K. H., A. A. Teixeira, J. Bichier, and M. Tavares. 1993. STERILMATE: Software for designing and evaluating thermal sterilization processes. ASAE Paper No. 93-4051. St. Joseph, MI: ASAE.
19. Banga, J. P., J. M. Perez-Martin, J. M. Gallardo, and J. J. Casares. 1991. Optimization of the thermal processing of conduction-heated canned foods: Study of several objective functions. J. Food Engineering 14: 25.
20. Silva, S. M., M. Hendrickx, F. Oliveira, and P. Tobback. 1992. Critical evaluation of commonly used objective functions to optimize overall quality and nutrient retention of heat-preserved foods. J. Food Engineering 17: 241.
21. Engelman, M. S., and R. L. Sani. 1983. Finite-element simulation of an inpackage pasteurization process. Numerical Heat Transfer 6: 41-54.
22. Datta, A. K., and A. A. Teixeira. 1988. Numerically predicted transient temperature and velocity profiles during natural convection of canned liquid foods. J. Food Science 53: 191-195.

23. Kumar, A., and M. Bhattacharya. 1991. Transient temperature and velocity profiles in a canned non-Newtonian liquid food in a still-cook retort. *International J. Heat and Mass Transfer* 34: 1083-1096.
24. Jung, A., and P. J. Fryer. 1999. Optimising the quality of safe food: Computational modelling of a continuous sterilization process. *Chemical Engineering Science* 54: 717-730.
25. Verboven, P., N. Scheerlinck, J. De Baerdemaeker, and B. M. Nicolai. 2000. Computational fluid dynamics modelling and validation of the temperature distribution in a forced convection oven. *J. Food Engineering* 43(2): 61-73.
26. Verboven, P., A. K. Datta, T. A. Nguyen, N. Scheerlinck, and B. M. Nicolai. 2003. Computation of airflow effects on heat and mass transfer in a microwave oven. *J. Food Engineering* 59(2-3): 181-190.
27. Tassou, S. A., and W. Xiang. 1998. Modelling the environment within a wet aircooled vegetable store. *J. Food Engineering* 38: 169-187.
28. Xu, Y., and D. Burfoot. 1999. Simulating the bulk storage of foodstuffs. *J. Food Engineering* 39: 23-29.
29. Xu, Y., and D. Burfoot. 1999. Predicting condensation in bulks of foodstuffs. *J. Food Engineering* 40(1-2): 121-127.
30. Hoang, M. L., P. Verboven, M. Baelmans, and B. M. Nicolai. 2003. A continuum model for air flow, heat and mass transfer in bulk of chicory roots. *Trans. ASAE* 46 (6): 1603-1611.
31. Nahor, H. B., M. L. Hoang, P. Verboven, M. Baelmans, and B. M. Nicolai. 2005. CFD model of the airflow, heat and mass transfer in cool stores. *International J. Refrigeration* 28: 368-380.
32. van der Sman, R. G. M. 2002. Prediction of airflow through a vented box by the Darcy-Forchheimer equation. *J. Food Engineering* 55(1): 49-57.
33. Lareo, C., P. J. Freyer, and M. Barigou. 1997. The fluid mechanics of two-phase solid-liquid food flows: A review. *Trans. Institute of Chemical Engineers (Part C)* 75(2): 73-105.
34. Reynolds, A. M. 1997. Modelling particle dispersion within a ventilated airspace. *Fluid Dynamics Research* 22(3): 139-152.
35. Duchanoy, C. and T. R. G. Jongen. 2003. Efficient simulation of liquid-solid flows with high solids fraction in complex geometries. *Computers and Fluids* 32: 1453-1471.
36. Hu, H. H. 1996. Direct simulation of flows of solid-liquid mixtures. *International J. Multiphase Flow* 22(2): 335-352.
37. Scott, G., and P. Richardson. 1997. The application of computational fluid dynamics in the food industry. *Trends in Food Science and Technology* 8: 119- 124.
38. Xia, B., and D. W. Sun. 2002. Applications of computational fluid dynamics (CFD) in the food industry: A review. *Computers and Electronics in Agriculture* 34: 5-24.
39. Schellekens, M., T. Martens, T. A. Roberts, B. M. Mackey, B. M. Nicolai, J. F. Van Impe, and J. De Baerdemaeker. 1994. Computer aided microbial safety design of food processes. *International J. Food Microbiology* 24: 1.
40. Nicolai, B. M., J. F. Van Impe, and M. Schellekens. 1994. Application of expert systems technology to the preparation of minimally processed foods: A case study. *J. A Benelux Q. J. Automatic Control* 35: 50.
41. Nicolai, B. M., W. Obbels, M. Schellekens, B. Verlinden, T. Martens, and J. De Baerdemaeker. 1994. Computational aspects of a computer aided design package for the preparation of cook-chill foods. *Proc. of the Food Processing and Automation Conference III*, 190. St. Joseph, MI: ASAE.
42. Drown, D. C., and J. N. Petersen. 1985. Computer aided design in the food processing industry. II. Application. *J. Food Technology* 20: 407.



43. Edwards, L., and R. Baldus. 1972. GEMS—General Energy and Material Balance System: A modular computer system for pulp and paper applications. Moscow, ID: Idaho Research Foundation Inc. (Cited by Petersen and Drown, 1985.)
44. Nahor H. B., N. Scheerlinck, P. Verboven, J. Van Impe, and B. M. Nicolai. 2004. Continuous/discrete simulation of controlled atmosphere (CA) cool storage systems: Model development and validation using pilot plant CA cool storage. *International J. Refrigeration* 27: 884.