

ORMAN ÜRÜNLERİ ENDÜSTRİSİNDE BENZETİM DESTEKLİ ÇALIŞMALAR VE BİR ÖRNEK UYGULAMA

Abdullah SÜTÇÜ¹ Ercan TANRITANIR²
Abdullah EROĞLU³ Halil İbrahim KORUCA⁴

¹ SDÜ Orman Fakültesi 32260, Isparta, asutcu@orman.sdu.edu.tr

² İ.Ü. Orman Fakültesi 34473 İstanbul

³ SDÜ İİBF, İşletme Bölümü, 32260 Isparta

⁴ SDÜ MMF, Makine Mühendisliği Bölümü, 32260 Isparta

ÖZET

Yurdumuz orman endüstri işletmeleri, geçmişte olduğundan daha dar kar marjlarında ve yoğun rekabet ortamında faaliyetlerini sürdürmektedirler. Artan rekabet şartları ve sürekli değişen müşteri istekleri, işletmeleri yeni ürün tipleri ve ürün gruplarını üretebilecek şekilde sürekli dinamik tasarımlara zorlamaktadır. Bu amaçla kullanılan ve karar vericiye doğru değerlendirme imkanı sunan önemli araçlardan biri 'benzetim'dir. Bu çalışmada orman ürünleri endüstrisinde (OÜE) daha önce yapılmış benzetim destekli çalışmalar kısaca özetlendikten sonra büyük ölçekli bir masif sandalye imalat atölyesinin mevcut durumunun benzetim modeli oluşturulmuş ve bu model üzerinde personel ve iş organizasyonu açısından değişiklikler yapılarak daha iyi performans gösteren bir model geliştirilmiştir. Bu modelde daha az personel ile (45~35) daha yüksek termin karşılama oranına (%59,2~%64,3) ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Yeniden Mühendislik, Benzetim, Orman Ürünleri Endüstrisi, Sandalye Üretimi

SIMULATION-AIDED STUDIES IN FOREST PRODUCT INDUSTRY AND A CASE STUDY

ABSTRACT

Turkish forest product industry is operating on tighter margins and ever increasing competition. With more competition and ever changing consumer demands, manufacturers are frequently realizing the necessity to redesign their facility to satisfy the needs of many product groups and styles. However, engineers are often left to their own inherent instincts during the design phase of a project without an analytical tool to help them to assess if their assumptions are correct or not. One of the best tools available to provide correct evaluations of system interdependencies is simulation. In this study, after briefly summarizing the simulation studies in forest product industry (OÜE), initial structure of a large scale wooden chair workshop has been modeled using a simulation tool. Then, an improved model, which provide better performance then the initial structure by re-organizing the personnel and workplace allocations. As a result, a higher service order ratio (59.2%~64.3%) and a reduced number of personnel (45~35) have been obtained.

Keywords: Re-engineering, Simulation, Forest Product Industry, Chair Manufacturing

1. GİRİŞ

Son yıllarda giderek artan küreselleşme eğilimleri, orman ürünleri endüstrisini (OÜE) yakından etkilemektedir. Artan rekabet şartları ve sürekli değişen müşteri istekleri ürün yaşam döngülerini her geçen gün daha da kısaltırken, sürekli yeni tasarımları zorunlu hale getirmektedir. Bu durum imalat süreçlerinin de dinamik yapılandırılmasını gerektirmektedir. İşletmelerin pazar paylarını korumak ve sürdürülebilmek amacıyla ileri teknoloji ürünü makine, tezgah ve araçlara yatırım yapmaları ve bunların geleneksel üretim sistemlerine gerekli analizlerin yapılmaksızın entegrasyonu ise beklenen sonucu vermemektedir.

Yeni teknolojilerin üretim alanlarına verimli şekilde entegre edilebilmesi, ancak verilerin bilimsel yöntemlerle analiz edilip değerlendirilmesi ile uygun organizasyon yapısını oluşturarak mümkün olabilir.

Bu doğrultuda ele alınan çalışmada; imalat sistemlerinin dinamik tasarımında önemli bir bilgisayar aracı olarak kullanılan benzetim yöntemi kullanılmıştır. Benzetim kullanılarak sistem üzerinde daha hızlı ve güvenilir değişiklikler daha düşük maliyetlerle gerçekleştirilirken, model üzerinde yapılan deneyler ile sistemin daha iyi anlaşılması sağlanmaktadır. Böylece, modellemede esas alınan ölçütlere bağlı olarak değişen çevre şartlarına uyum kabiliyeti artarken yatırım riski düşmekte, organizasyon açısından üretim sistemi içerisinde bölümler arası ilişkiler ve davranışlar incelenebilmekte, iş istasyonu ve personel açılarından oluşabilecek darboğazlar önceden görülüp gerekli önlemler alınabilmektedir.

Benzetim, “gerçek bir sisteme ait modelin kurulması, ve sistem davranışının ve/veya sistem üzerindeki farklı stratejilerin değerlendirilmesi amacıyla bu modelle bağlantılı deneylerin tasarım süreci” olarak tanımlanmaktadır (Shannon, 1998). Optimizasyon modelleri dahil bir çok matematiksel model gerçek sistem dinamiklerini tam olarak yansıtamazken, benzetim ile gerçek sistemin dinamikleri yansıtabilmektedir. Bu özellik onun, yapısı, fonksiyonları ve sonuçların analizinde izlediği farklı yoldan kaynaklanmaktadır (Ingalls, 2002).

Sistem analizinde analitik modeller yerine benzetim modellerinin kullanımının faydaları aşağıda kısaca özetlenmiştir (Shannon, 1998).

- Modelin yöneticiler ve müşteriler tarafından anlaşılabilirliği daha kolay ve basittir.
- Model varsayımlarının daha az ve basit olması nedeniyle sistem karakteristikleri daha doğruyu yansıtır.
- Herhangi bir kaynak ayırmaksızın yeni tasarımların ve tesis yerleşimlerinin sonucu test edilebilir.
- Devam etmekte olan üretim sürecine hiçbir şekilde müdahale etmeksizin yeni personel politikaları uygulamanın, organizasyonel yapıda ve bilgi akışında yapılacak değişikliklerin sonuçlarının izlenebilmesi mümkündür.
- Ürün akışında oluşabilecek darboğazların tanımlanmasına ve akış hızının artırılmasına yönelik alternatifler test edilebilir.

- Sistem içinde gerçekleşen belirli olayların nasıl ve niçin oluştuklarına dair hipotezler test edilebilir.

- Uzun zaman evrelerinde gerçekleşen olayları hızlı bir gözden geçirme ile kazanılabilecek tecrübe yardımıyla, aylar hatta yıllar alabilen süreçler dakikalar içerisinde yönlendirilebilir veya üzerinde çalışmak için olaylar yavaşlatılabilir, böylece süre kontrol altına alınabilir.

- Sistem performansı için en önemli değişkenlerin hangileri olduğunun belirlenebilir.

bu faydalar yanında bir takım sakıncalı yönü de bulunmaktadır (Klingstam ve Gullander, 1999).

- Benzetim modelleme özel beceri gerektiren bir sanattır. Bu nedenle uygulayıcının kabiliyeti önemlidir. Modelin kullanılabilirliği model kalitesine ve modelleyicinin becerisine bağlıdır.

- Güvenilir girdi verilerinin toplanması oldukça zaman alıcıdır. Yetersiz veri olması durumunda ise gereksinimler karşılanamaz veya yönetimde zayıf karar alınmasına sebep olur.

- Benzetim modelleri girdi-çıkıtı modelleridir. Veri olarak neler girilirse çıktılar ona göre oluşur. Bu nedenle 'çözüm' yerine 'koşum' ifadesi kullanılır. Optimum çözümü bulmak yerine verilen şartlar altında sistemin nasıl davranacağını test etmeye yarayan bir araçtır.

- Pahalı yazılım ve donanım gerektirir.

Benzetim destekli çalışmalar ile üretim sistemlerinin analizi ve tasarımı konusunda 30 yıldan daha fazla süredir çok önemli gelişmeler kaydedilmiş ve bu konuda yüzlerce makale, kitap ve konferans bildirisi yayınlanmıştır (Smith, 2003). Karar vericiye daha hızlı ve daha doğru kararları daha düşük maliyetlerle sunan bu yöntem ile OÜE'nde de başarılı uygulamalar gerçekleştirilmiş olmasına rağmen yurdumuz işletmelerince henüz yeterince kullanılmadığı gözlenmektedir. Bu çalışma ile OÜE'de 'benzetim' konulu çalışmalar kısaca tanıtıldıktan sonra büyük ölçekli bir masif sandalye imalat atölyesinin mevcut durumunun benzetim modeli oluşturularak kısıtlı üretim kaynaklarının daha verimli kullanılması ve sistem performansının artırılmasına yönelik bir örnek uygulama gerçekleştirilmiştir.

2. ORMAN ÜRÜNLERİ ENDÜSTRİSİNDE (OÜE) BENZETİM DESTEKLİ ÇALIŞMALAR

OÜE'nde benzetim konulu ilk çalışmalar 1960'lara kadar uzanmaktadır (Thomas, 1965). İlk çalışmaların büyük çoğunluğu özellikle ahşap endüstrisine yönelik olup, tomruktan kereste üretiminde verimlilik ve randımanı artırmak amacıyla en uygun kesiş şekillerinin belirlenmesi için geliştirilen benzetim modelleri hakkında yoğunlaşmaktadır (Tsolakides, 1969; Tobin ve Bethel, 1969; McAdoo, 1969; Reynolds, 1969). Kereste endüstrisine yönelik bu tip çalışmalar son yıllara kadar artarak devam etmiştir (Cummings ve Culbertson, 1972; Richards, 1973; Aune, 1974; Kempthorne, 1978; Adkins, vd., 1980; Savsar ve

Kersavage, 1982; Adams 1984; Lewis, 1985; Hall ve Jewett 1988.; Howard, 1988). Günümüzde benzetim, daha çok, bir karar destek aracı olarak kullanılmaktadır. Bu kapsamda; yönetim planlarının yapılması, üretim sistemlerinin iyileştirilmesi ve yeniden mühendislik ve yeniden tasarım faaliyetlerine yönelik çalışmalar çoğunluktadır. Bu çalışmalardan bir kısmı aşağıda kısaca özetlenmiştir. Bunlarla birlikte, odun su ilişkilerinin analizinde ve malzeme davranışlarının incelenmesinde kullanılan sürekli benzetim uygulamaları da bulunmaktadır (bkz. Turner, 1996; Tarasiewicz ve Leger, 1998; Carvalho ve Costa, 1998; Goel vd., 1999; Defo ve Brunette, 2006).

Mendoza vd. (1991a, b), bir kereste fabrikasında stoktaki tomruk miktarı ve pazar talebini dikkate alarak kar en büyükleme sağlayan bir optimizasyon modeli ile, potansiyel darboğazların belirlenmesinde, olası kuyruk uzunluklarının tahmininde ve özellikle üretilecek kereste sınıfı karışımının belirlenmesinde kullanılabilecek bir kereste fabrikası benzetim modelini tanıtmışlardır.

Townsend ve Lamb (1991a), düşük teknoloji ile atölye tipi imalat yapan bir mobilya fabrikasında uzun dönem planlama aracı olarak benzetim kullanımını değerlendirdiği çalışmada “en kısa işlem önce” kuralını optimum bulmuştur. Model güvenilirliği Townsend ve Lamb (1991b) sonuçları ile karşılaştırılarak verilmiştir.

Gupta ve Arasakesari (1991), SLAM II benzetim programını kullanarak ofis mobilyaları üreten bir mobilya fabrikasının üretim sistemini araştırmıştır. Çalışmada ele alınan işletmeye yönelik; kapasite yetersizliği probleminin çözümü için yeni makine alımı ve mevcut makinaların esnekliğini artırmak gibi farklı altı senaryo denenmiştir. Darboğaz oluşturan iş istasyonuna makine ilavesiyle temin süresi 1/3 oranında azalmış, ortalama kuyruk uzunluğu %95 kısaltılırken ortalama bekleme süresi 835,3 dk dan 38,7 dk ya düşürülmüştür. Bu gelişmeler üretim sahasında boyutsal kazanımlar ve süreç içi stok seviyelerinin düşmesini de sağlamıştır.

Kline vd. (1992) masif mobilya imalatı yapan bir işletmede masif hazırlama hattını, nesneye yönelik benzetim modeli ile modellemiştir. Üretim süresi, işlem maliyetleri, stok seviyesi ve darboğaz işlemler sonucu oluşan kuyruklar ile ortalama artık miktarının değerlendirildiği çalışmada simülasyon-animasyonun alternatif yönetim stratejilerinin test edilmesinde ve sistem yönetim kararlarında karar destek aracı olarak kullanılabildiği ortaya konulmuştur.

Cassens vd. (1993), Monte-Carlo benzetimi ile kereste üretim sürecinde hedef kalınlık değerine ulaşmada, uygulanan işlemlerin ve iş merkezlerinin etkinliğini araştırmışlardır. Çalışmada; ham ve kurutulmuş kereste kalınlığı, daralma miktarı değerleri ve ürün kalite sınıfları olasılıklı değerler, planya toleransı ve maliyetler ise sabit değerler olarak girdi parametrelerini oluşturmuştur. Taylor vd. (1995), yapısal ahşap mühendisliği alanında Monte-Carlo benzetim tekniğinin kullanımı konusunda kapsamlı bir literatür derlemesi yaparak, uygun olasılık dağılımları üreten bilgisayar yazılımları ve benzetim modellerinin güvenilirlik test tekniklerini tartışmıştır.

Tanrıtanır ve Hocaoğlu (1993), Tam Zamanında Üretim (TZÜ) sisteminin uygulandığı bir mobilya imalat atölyesinin, benzetim modelini SIMAN benzetim dili ile oluşturmuş ve farklı parti büyüklüklerinde sistem performansını bu model üzerinde değerlendirmiştir. Çalışma sonunda, ele alınan işletme için en uygun parti büyüklüğü değeri belirlenmiştir.

Başlıgil ve Hocaoğlu (1993), kereste ve parke üretimi yapan bir işletmenin kereste atölyesini modellemiştir. Model üzerinde geliştirilen dört farklı senaryo, süreç içi stok ve ortalama iş akış zamanları gibi altı farklı performans değeri kullanılarak değerlendirilmiştir. Çalışma sonunda, ele alınan işletme için en uygun modelin ‘yüksek işlem zamanlıya öncelik’ sıralama kuralının uygulandığı sistem olduğu belirtilmiştir.

Tanrıtanır (1994), modüler mobilya üretimi yapan bir işletmede dokuz farklı ürün modülünü esas alarak TZÜ sisteminin uygulanabilirliğini araştırmıştır. Çalışma sonunda hazırlık sürelerinin düşürülmesine, iş akışlarının basitleştirilmesine, grup teknolojisi kullanılarak hücrel yerleşim düzenine geçilmesine ve koruyucu bakım planlamasının önemine yönelik öneriler geliştirilmiştir.

Wiedenbeck ve Araman (1994), orman ürünleri ve mobilya endüstrisinde benzetim kullanımının getirdiği fırsatlardan bahsettikleri çalışmada; mobilya endüstrisinde fabrika yeniden tasarımı ve teknolojik adaptasyon konusunda benzetim kullanımının daha yoğun olduğu fakat ahşap endüstrisinde (wood industry) daha sınırlı bir kullanımın varlığından bahsetmektedir.

Wiedenbeck ve Kline (1994), OÜE’nde süreç benzetimi ve geçerli model inşası konularını Nance-Balci (1986) model geliştirme yaşam döngüsünü temel alarak ve bir örnek uygulama yaparak ortaya koymuştur.

Wu vd. (1994), parti tipi üretim yapan bir mobilya işletmesinde süregelen imalat çizelgeleme yöntemini “kısıtlar teorisi” kapsamında geliştirilen DBR (Drum-Buffer-Rope Scheduling) çizelgeleme tekniği ile karşılaştırmıştır.

Lin vd. (1995), mobilya imalatı için tomruktan kereste üretimi yapan bir kereste fabrikasının üretim sistemini SIMAN benzetim dili kullanarak modellemiştir. Çalışmada; tomruk ve kereste sınıflarının randımana olan etkisi ile olası üretim süreçlerinin benzetim destekli araştırılması gerçekleştirilmiştir. Benzetim deneylerinde makine ve iş istasyonlarının farklı dört yerleşim tasarımı yapılarak, üretim miktarları, darboğaz oluşturan makinalar, personel ve makine kullanım oranları belirlenmiştir.

Acuna (1996), mobilya endüstrisinde eş zamanlı mühendislik tekniğinin uygulanabilirliğini ve proses tasarım faaliyetlerinde bilgisayar destekli benzetim kullanımının faydalarını ortaya koymuştur. Hücrel yerleşim, ürüne göre yerleşim, sürekli akış ve dört farklı atölye tipi imalat yerleşimi olmak üzere toplam yedi senaryonun değerlendirildiği çalışmada “sandalye imalat sistemi proses tasarımında hücrel yerleşim ile atölye yerleşimi arasında önemli bir fark olmadığı, ve hatta bazı performans ölçütleri açısından atölye tipi yerleşimin daha iyi sonuçlar verdiği” ifade edilmiştir.

Kereste işleyen orman ürünleri endüstri işletmelerine yönelik yapılan çalışmalara ilk R.J. Thomas'ın önderliğinde 1960'larda başlanmıştır (Thomas, 1965). Daha sonraki yıllarda bu konularda sayısız araştırma ve simülasyon yazılımı üretilmiştir. Günümüzde bu alanda en yaygın kullanılan simülasyon yazılımlarının ROMI-RIP, ve RIP-X olduğu bildirilmektedir (Thomas, 1996; Thomas ve Buehlmann, 2002; Harding ve Steele, 1997). Stuess (1997), daha önce geliştirilmiş farklı iki tip benzetim yazılımını tanıttığı çalışmada bir de örnek uygulama gerçekleştirmiştir. Çalışmada ROMI-RIP ve ROMI-CROS gibi süreç benzetim araçlarının parça kesme listelerinin oluşturulmasında, kesme stratejilerinin değiştirilmesinde ve günlük işlemler ile ilgili 'eğer-ise' sorularının cevaplandırılmasında, MaxSIMizer Pro gibi akış benzetim araçlarının ise fabrika içi makine ve iş istasyonlarının yerleşimi, üretilecek ürün sınıfının maliyete olan etkisi ve yeni makine alınması kararı vb., amaçlarla kullanılabilmesi bildirilmiştir. Sonraki yıllarda ROMI-RIP ve ROMI-CROS yazılımlarının ileri versiyonları üretilmiş ve daha sonrada her ikisinin olumlu yönleri birleştirilerek ve zenginleştirilerek ROMI-III benzetim yazılımı geliştirilmiştir (Thomas ve Weiss, 2006). Steele ve Aguirre (2004), CUTSIM benzetim yazılımını kullanarak yaptıkları araştırmalarında yığın üretimi ile bölümlendirilmiş üretimi, randıman ve kalite açılarından karşılaştırmışlardır. Çalışma sonunda, yığın üretimde daha yüksek randıman sağlanmasına karşın bölümlendirilmiş üretimde daha yüksek kalitede kereste üretildiği ifade edilmektedir. Yine benzer bir çalışma da Clement vd. (2005) tarafından gerçekleştirilmiştir. Kereste endüstrisinde son yıllarda yapılan çalışmalar (bkz. Moberg ve Nordmark, 2006; Tong ve Zhang, 2006; Todoraki vd., 2005) incelendiğinde geleceğe yönelik çalışmaların daha çok; tomruktan veya dikili haldeki ağaçtan elde edilebilecek kereste kalitesinin belirlenmesine yönelik olacağı gözlenmektedir.

Tanrıtanır ve Hocaoglu (1999), fabrika içinde iş akışını basitleştirmek ve montaj hatlarını dengelemek amacıyla panel tipi standart mobilya üreten bir fabrikadaki farklı makine sayıları ile oluşturdukları alternatif imalat politikalarını beş farklı performans ölçütüne göre değerlendirmişler, mevcut işletme için en uygun makina bileşimini tespit etmişlerdir.

Kosturiak ve Gregor (1999), imalat sistem benzetimi alanında yeni eğilimlere değindikleri çalışmalarında; karmaşık imalat ortamlarında tasarım, operasyon ve sürekli gelişme aşamalarında ayrık olay simülasyon yönteminin nasıl kullanıldığını anlatmışlar ve bir de mobilya endüstrisine yönelik uygulama gerçekleştirmişlerdir.

Kyle ve Ludka (2000), diğer endüstrilerde olduğu gibi mobilya endüstrisinde de benzetim teknolojisindeki son tekniklerin kullanılabilmesi ve benzetim modellerinin operasyonel planlama araçlarına dönüştüğünü ifade ettikleri çalışmalarında; bir mobilya fabrikası lake masa üretim hattını ele alarak, gerekli personel sayısının belirlenmesi, çoklu makine ve iş istasyonlarından oluşan iki hücre arasındaki hat dengeleme faaliyetlerinin gerçekleştirilmesi, parti büyüklüklerinin ve ara stok seviyelerinin belirlenmesi amacıyla geliştirdikleri Sim X benzetim modelini tanıtmışlardır. Sim X Modeli; Microsoft Excel hesap tabloları, Visual Basic ile

oluşturulan ara yüzler ve Promodel simülasyon yazılımının entegrasyonu ile oluşturulmuştur.

Melton vd. (2001) ve Melton vd. (2002), mobilya üst yüzey işlem hattının kapasite açısından detaylı analizine yönelik Arena 3.0 da oluşturdukları benzetim modelini, MS Excel ve Visual Basic ile hazırladıkları ara yüzlerle entegre etmişlerdir. Çalışmada oluşturulan benzetim modeli ile darboğaz iş istasyonlarının belirlenebildiği, kapasiteye yönelik çözüm senaryolarının geliştirilebildiği ve farklı hat yükleme teknikleri, farklı ürün hatları veya farklı hat hızlarında sistem davranışları analizinin mümkün olduğu belirtilmiştir.

Baesler vd. (2002), kontrtabla üretimi gerçekleştiren bir işletmede, Arena benzetim programını kullanarak oluşturdukları benzetim modelini genetik algoritma sezgisel modeli ile entegre etmişlerdir. Böylece, sistem performansının optimizasyonu amaçlanmıştır. Çalışma sonuçlarına göre en yüksek yatırım etkinliğinde, en düşük çevrim süresini veren en iyi kaynak (makine-tesisat) bileşimi ortaya konulmuştur.

Reeb (2003), çam kereste üretimi yapan bir kereste fabrikasının üretim sistemini SLAM II benzetim programını kullanarak modellemiş, iki sınıflandırıcının bulunduğu sisteme üçüncü bir sınıflandırıcının daha eklenmesinin getireceği avantajları benzetim sonuçları ile açıklamıştır.

Tanrıtanır vd. (2004), tarafından yapılan çalışmada, levha tipi mobilya üretimi yapan bir mobilya endüstrisi işletmesinde imalat ve montaj iş istasyonlarına ilişkin tüm faaliyetler ve bu faaliyetlere ait maliyetler dikkate alınarak sistemin benzetim modeli oluşturulmuştur. Çalışmada daha verimli organizasyon yapılarının geliştirilmesi amacıyla beş alternatif senaryo bilgisayar ortamında denenmiş ve sistemin yeniden tasarım süreci bir örnekle ortaya konmuştur. Bu alternatiflerin maliyetler ve toplam siparişleri karşılayabilme durumları birbirleri ile karşılaştırılarak işletme amaçlarına en uygun organizasyon yapısı önerilmiştir.

Sütçü vd. (2005), tarafından yapılan çalışmada masif mobilya imalatı yapan OÜE işletmeleri için, üretim sistemlerinin yeniden tasarımında kolaylıkla takip edebilecekleri bir algoritma geliştirilmiştir. Çalışmada, karma hücreli yerleşim modeli, müşteri odaklı organizasyon gibi aktüel stratejilerin nasıl uygulanabileceği ayrıntıları ile açıklanırken, uygulanmaları durumunda sistemin ne şekilde bir performans göstereceği 14 farklı performans kriteri ile benzetim modeli üzerinde izlenmiştir. Çalışma sonunda, geliştirilen organizasyonel yapılandırma algoritmasının mobilya endüstrisinin diğer alt sektörlerine (özellikle döşemeli mobilya imalatı yapan işletmelere) de uygulanabilirliğinin araştırılması gerektiği ifade edilmiştir.

3. UYGULAMA

Çalışmanın bu kısmında büyük ölçekli bir mobilya fabrikasının sandalye imalat atölyesi verileri kullanılarak atölyenin benzetim modeli oluşturulmuş, bu model üzerinde sistemi iyileştirici öneriler geliştirilerek üretim sisteminin daha verimli ve düşük maliyetli bir yapıya kavuşturulması amaçlanmıştır.

Çalışmada; bir imalat ve montaj benzetim yazılımı olan FEMOS kullanılmıştır. FEMOS'da bir üretim sisteminin modellenmesi, pencereler üzerinden gerekli verilerin girilmesi ile kolayca gerçekleştirilebilmektedir (Zülch ve Grobel, 1996).

Modelde kullanılan veriler olasılık değerler içermediği için kurulan benzetim modeli, deterministik bir modeldir. Bu tür bir benzetimin verileri stokastik olmadığından işlem ve hazırlık sürelerine ait değerler ile çıktı sonuçlarının istatistiksel analizine gerek duyulmamıştır. Aynı zamanda, programın her çalışması aynı verilerle gerçekleştirileceği için yineleme sayısının hesaplanması da gerekmemiş, bir aylık üretim sürecini kapsayan tek bir koşumun yapılması yeterli görülmüştür.

Başlangıç durumunun tüm verileri elde edildikten sonra, dinamik sistem davranışları bilgisayar ortamında simüle edilerek animasyon ekranında izlenmiştir. Benzetim deneyinden elde edilen sonuçlar, işletmede çalışan uzman kişilerle görüşülerek model doğruluğu test edilmiştir. Doğru olduğu onaylanan model (mevcut durum modeli), gelişim modeli için temel model olarak kullanılmıştır.

3.1. Sandalye İmalat Atölyesi Mevcut Durumu ve Model Oluşturma

Günlük 1500 adet ahşap sandalye üretim kapasitesinde olan fabrikada üretim, sırasıyla; imalat, vernik-cila ve döşeme atölyelerinde gerçekleştirilmektedir. Genel iş akışı şu şekildedir: İşletme dışından tedarik edilen kayın kaplama levhalar imalat atölyesinde uygun kalıplarla preslenerek sandalye ayakları, sırt ve oturma fontları oluşturulur. Preslenmiş levhalar çoklu dilme makinesinde işlenerek tekil parçalara dönüştürülür. Bu aşamadan sonra her bir parça, üzerinde gerekli işlemlerin yapılması amacıyla partiler halinde iş akış planına göre diğer iş istasyonlarını dolaşır. Alt montajı yapılması gerekli parçalar ürün özelliklerine göre elle veya montaj presleri kullanılarak monte edilir. İmalat atölyesinde gerçekleştirilen bu işlemlerden sonra ilgili tüm parçalar vernik-cila atölyesinde üst yüzey işlemlerine tabi tutulur. Daha sonra oturma fontları ve bazı döşeme gerektiren parçaların döşeme atölyesinde döşemesi yapıldıktan sonra ambalaj-paketleme ünitesinde demonte mobilya halinde paketlenerek sevkiyat yapılmak üzere mamul depoya gönderilir. Üretilen sandalye parçalarının son montajı, kullanım yerinde müşteriye teslimat esnasında gerçekleştirilir.

Vernik-cila ve döşeme atölyelerinin seri imalata uygun şekilde yapılandırılmış olması nedeniyle sadece imalat atölyesinde yeniden tasarım faaliyetine gerek duyulmuştur.

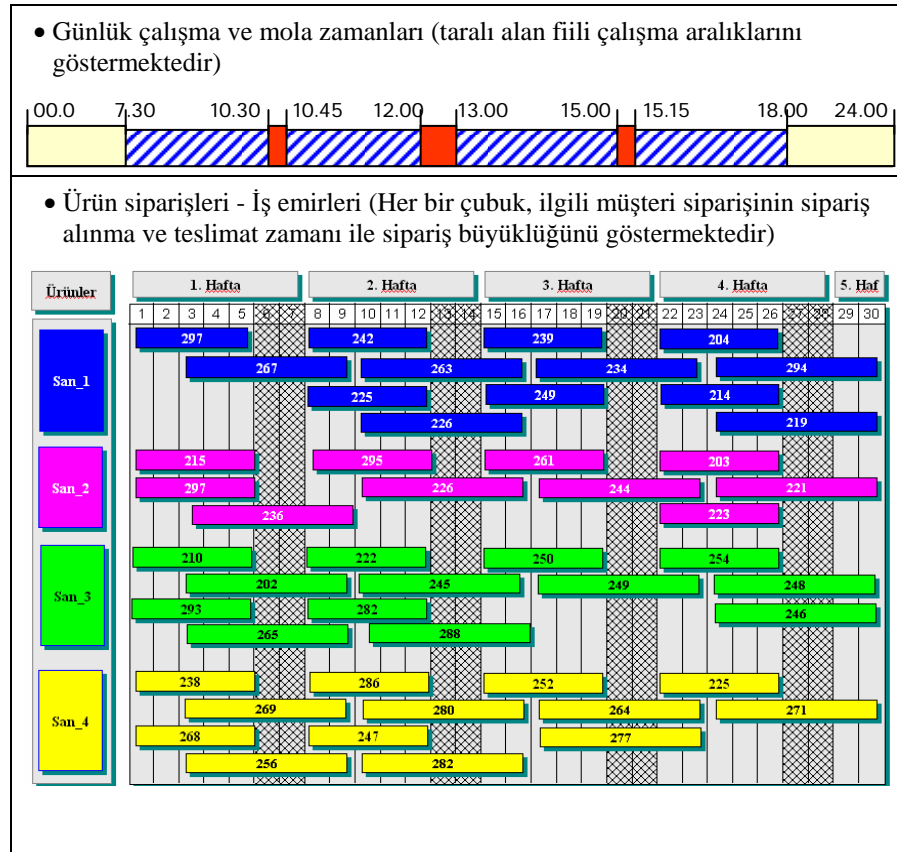
İmalat atölyesinde parti tipi üretim yapılmakta olup makine ve iş istasyonlarının atölye içindeki yerleşim düzeni ise fonksiyonel yerleşim şeklindedir. İşlem ve hazırlık süreleri personel ve makina için ayrı ayrı belirlenmiş deterministik değerlerdir (Benzetim modelinde kullanılan veriler hakkında daha ayrıntılı bilgi için bkz. Sütçü, 2005).

Çalışmada, dört farklı tipteki ürüne (sandalyeye) ait iş akışları modellenmiştir. Bu ürünler işletmede en çok üretilen ve piyasada en çok talep edilen ürünler olmakla birlikte kullanılan hammaddeler; masif, kontrplak, metal ve işletme tarafından üretilen tabakalı levhalardan oluşan çeşitli malzemelerdir.

Personel ve iş istasyonları günlük 9, haftalık 45 saatten oluşan bir mesai düzeninde çalışmaktadır (Şekil 1). Fazla mesai tercih edilmemektedir.

Sistem yükü, her biri farklı müşteri, ve başlama tarihli siparişlerden oluşur. İşletmede iş emirleri Pazartesi ve Çarşamba olmak üzere haftada iki kez üretime verilmektedir. Modelde kullanılan sipariş miktarları değişen pazar taleplerinin üretim sistemine olan etkisinin en iyi yansıtılması ve değişken iş yükü sağlamak amacıyla 200-300 arası rassal sayılar kullanılarak belirlenmiştir. Parti büyüklüğü sipariş büyüklüğüne eşit alınmıştır (Şekil 1).

İmalat atölyesinde belirli makine ve iş istasyonlarında nitelikleri benzer özellikler gösteren üç farklı vasıfta ve ücret grubunda personelin bulunduğu ve böylece esnek işgücü kullanımının söz konusu olduğu varsayılmaktadır. Benzetim modelinde kullanılan mevcut duruma ait personelin iş istasyonlarına göre dağılımları Çizelge 1’de verilmiştir.



Şekil 1. Benzetim modelinde çalışma zaman aralıkları ve iş yükü.

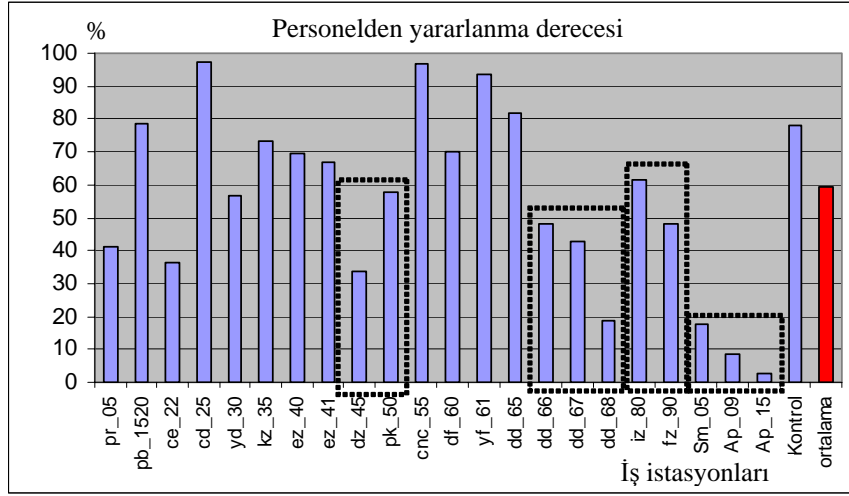
Çizelge 1. Mevcut durumda iş istasyonları.

İş istasyonu	Makina (Adet)	Personel (Adet)
Yüksek frekanslı pres	8	3
Planya	1	1
Baş kesme	1	
Çift taraflı ebatlama	1	1
Çoklu dilme	1	1
Yatar daire testere	2	4
Kalibre zımpara	1	2
Erkek zıvana açma (manuel beslemeli)	1	2
Erkek zıvana açma (Otomatik beslemeli)	1	1
Dişi zıvana açma	6	4
Pah kırma	3	3
CNC Tezgah	1	1
Dikey freze	1	1
Yatay freze	1	1
Dikey matkap	1	1
Yatay çoklu delik	1	2
Dikey-Yatay çoklu delik	1	2
Yatay matkap	1	1
Bant zımpara	4	4
Fırça zımpara	4	4
Montaj iş ünitesi	1	2
Sandalye montaj presi	6	2
Sandalye montaj presi (çoklu)	1	1
Kontrol	1	1

3.2. Yeniden Tasarlanan Yapı

Personelden yararlanma derecesi en düşük ve fonksiyonel açıdan birbirine benzer işlerin aynı personel grubu tarafından yapılabileceği göz önünde tutulursa, iş istasyonlarının gruplandırılması ve bu ünitelere eşit yetki ve sorumlulukta daha az sayıda personel atanması mümkündür. Bu organizasyonel değişimin tüm sisteme olan etkisi benzetim deneyleri ile dinamik olarak izlenebilmektedir.

Mevcut durum benzetim sonuçları (makina ve personel kullanımları, kuyruk süresi) ve sistemin animasyon ekranından izlenmesiyle aynı nitelikteki personelin çalıştığı ve personelden yararlanma derecesinin düşük olduğu, Şekil 2’de kesik çizgilerle belirtilen iş istasyonları (dz45-pk50, dd66-dd67-dd68, iz80-fz90, sm05-ap09-ap15) bir araya getirilerek, personel üzerinde iş zenginleştirilmesi yapılmıştır.



Şekil 2. Mevcut durumda personele ait kapasite kullanımı (Kesikli çizgiler; bir araya getirilmesi teklif edilen iş istasyonlarını göstermektedir).

Böylece aylak sürelerin elimine edilmesi, monotonluğun engellenmesi, ve daha az personel ile daha yüksek personel verimliliğine ulaşılması amaçlanmıştır. Tasarruf edilen personeller ise diğer işyerlerinde niteliklerine uygun olarak görevlendirilmeleri planlanmıştır. Aynı zamanda hazırlık süresinin yüksekliğinden dolayı en fazla kuyruk oluşan cnc_55 kod numaralı CNC tezgahına ikinci bir tabla eklenerek (tablanın birinde işlem yapılırken diğerine yeni parça bağlanabilmesi için) ve bu iş istasyonuna aynı nitelikte ikinci bir personel daha atayarak süreç içi stok seviyesi düşürülürken bütünsel bir yaklaşım ile sistem verimliliğinin artırılması amaçlanmıştır.

3.3. Benzetim Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Bu çalışmada, sistem performansını ölçmeye yönelik; temin süresi başarısı, kapasite kullanım başarısı, süreç içi stok miktarı başarısı, termin karşılama oranı, personel maliyetleri ve tamamlanan ürün sayısı performans ölçütlerinden yararlanılmıştır (Zülch vd., 1995).

Mevcut durum ve gelişim modeline ait benzetim sonuçları karşılaştırmalı olarak Çizelge 2'de verilmiştir. Mevcut durum modeli ile önerilen yeni durum modeli karşılaştırıldığında, daha az personel ile (personel sayısı 45 den 35'e inmiştir) siparişlerin zamanında teslimatı daha yüksek düzeye (%59,18'den %64,29'a) çıkmıştır. Aynı zamanda personel maliyetlerinde %20 azalış sağlanırken tamamlanan parça sayısında %7,42 artış sağlanmıştır.

Çizelge 2'de görüldüğü gibi personel sayısında %22 lik bir azalışa rağmen personel maliyetinde bu düşüş %20 seviyesinde kalmıştır. Bunun sebebi; iş zenginleştirilmesi yapılan iş istasyonlarında daha yüksek nitelikli personelin kullanılıyor olmasından dolayıdır.

Çizelge 2. Mevcut durum ve gelişim modeline ait performans değerleri.

Performans Ölçütleri	Mevcut Durum	Gelişim Modeli
Temin süresi başarımı (%)	4,87	5,08
Kullanım oranı başarımı (%)	39,49	41,69
Süreç içi stok miktarı başarımı (%)	4,07	4,97
Termin karşılama oranı (zamanında tamamlanan sipariş oranı) (%)	59,18	64,29
Personel sayısı	45	35
Toplam personel maliyeti (YTL)	42541.21	34032.96
Tamamlanan Parça Sayısı (Adet)	34864	37452

4. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bir moda ve stil sektörü olan OÜE’nde farklı estetik zevklere sahip tüketici gruplarının beklentilerini karşılayabilmek ve kısa zaman aralıklarında farklı modelleri piyasaya sürebilmek için işletmelerin yeniden organizasyonunda sürekli dinamik tasarımlar gerçekleştirmek günümüzde bir zorunluluk haline gelmiştir. Karar vericiye daha hızlı ve daha doğru kararları daha düşük maliyetlerle sunan ‘benzetim’ yöntemi bu amaçla yıllardır kullanılmaktadır.

Bu çalışma ile ‘benzetim nedir?, neye yarar?’a öncelikle literatür araştırması sonra da bir örnek uygulama ile cevap aranmıştır. Örnek uygulamada büyük ölçekli bir masif sandalye imalat atölyesinin mevcut durumunun benzetim modeli oluşturulmuş, arkasından da bu model üzerinde personel ve iş organizasyonu açısından değişikliklerin yapıldığı basit bir gelişim modeli geliştirilmiştir. Böylece daha az personel ile daha yüksek, performans değeri veren organizasyon yapısı belirlenmiştir.

Mevcut durum üzerinde daha iyi bir sistem organizasyonu için olası senaryolar (örneğin; sürekli düzgün bir imalat akışının sağlandığı ürün odaklı yerleşimin tasarlanması, yalın üretim sisteminin kurulması ve 6sigma etkinliklerinin sonuçlarının daha uygulamadan izlenebilmesi, vb.) model üzerinde denenerek ‘daha iyi’ nin araştırılması benzetim yardımıyla düşük maliyetle gerçekleştirilebilir.

Sonuç olarak; benzetim, öncelikle savunma sanayinin ve daha sonra da endüstriyel işletmelerin çok büyük harcamalar yaparak yatırım yaptıkları, sürekli gelişen bir teknolojidir. Ulusal OÜE işletmelerinin de bu konuya ilgi gösterip gerekli yatırımları yapmaları hem kendi rekabet avantajlarını yükseltecek, hem de kısıtlı kaynakların israf edilmeksizin daha ekonomik kullanımını sağlayacaktır.

Teşekkür : Bu çalışmanın gerçekleştirilmesine SDÜ-491 no’lu proje kapsamında destek veren SDÜ Araştırma Projeleri Yönetim Birimi’ne ve imalat sistem verilerini kullanmamıza izin veren Boytaş Mobilya A.Ş. işletmesine teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

Acuna, J., 1996. Manufacturing simulation: A Powerful tool for concurrent product and process design in chair manufacturing, Doktora Tezi, Purdue University, West Lafayette, IN USA, 434 s.

ORMAN ÜRÜNLERİ ENDÜSTRİSİNDE BENZETİM DESTEKLİ ÇALIŞMALAR VE BİR BENZETİM ...

- Adams, E.L. 1984. DESIM: A system for designing and simulating hardwood sawmill systems. Gen. Tech. Rept. NE-89. USDA Forest Serv., Northeastern Forest Expt. Sta., Broomall, Pa.
- Adkins, W. K., Richards, D. B., Lewis, D. W., Bulgrin, E. H., 1980. Programs for Computer Simulation of Hardwood Log Sawing, Forest Products Laboratory, Res. Paper FPL 357
- Aune, P.A., 1974. System simulation- A technique for sawmill productivity analysis and designs. Forestry Chronicle 50(2):66-69
- Baesler, F.F., Moraga M., Ramis, F.J., 2002. Productivity improvement in the wood industry using simulation and artificial intelligence, *In: E. Yücesan, C.H. Chen, J. L. Snowdon, J. M. Charnes (Eds.), Proceedings of the 2002 Winter Simulation Conference*, pp.1095-1098.
- Başlıgil, H., Hocaoğlu, M.F., 1993. ORÜS (Orman Ürünleri Sanayi)'de SIMAN Simülasyon dili ile simülasyon çalışması ve atelye performans ölçütlerinin değerlendirilmesi, ORENKO 93 - II. Ulusal Orman Ürünleri Endüstrisi Kongresi, 6-9 Ekim 1993, Trabzon, pp.196-206.
- Carvalho, L.M.H., Costa, C.A.V., 1998. Modeling and simulation of the hot-pressing process in the production of medium density fiberboard (MDF), Chemical Eng. Communications, 170: 1-21
- Cassens, D.L., Gibson, H., Friday, J.S., 1993. Modeling Lumber Manufacturing Processes Using Monte Carlo Computer Simulation, Forest Products Journal, 43/9: 41-47.
- Clément, C., Gazo, R., Beauregard, R., Lihra, T., 2005. Comparison of rough mill yield for white birch lumber between a conventional and a short-log sawmill, Forest Prod. J., 55/3: 71-80
- Cummins, L. K., Culbertson, D. D. 1972. Sawmill Simulation Model for Maximizing Log Yield Values, Forest Products Journal, 22 (10): 34-40
- Defo, M., Brunette, G., 2006. A log drying model and its application to the simulation of the impact of bark loss. Forest Prod. J. 56(5),71-77
- Goel, A., Phanouriou, C., Kamke, F.A., Ribbens, C.J., Shaffer, C.A., Watson, L.T., 1999. WBCSim: A prototype problem solving environment for wood-based composites simulations, Engineering with Computers, 15:198-210.
- Gupta, T. , Arasakesari, S., 1991. Capacity planning in wood products industry using simulation, *In: Nelson, B.L., Kelton, W.D., Clark, G.M. (Eds.), Proceedings of The 1991 Winter Simulation Conference*, Phoenix, AZ, USA, s.435-440.
- Hall, R.J., Jewett, D.B., 1988. A Simulator for the design, analysis and management of sawmills. In: Proceedings, Forest Product Res. Soc. 42nd Annual Meeting, Quebec, PQ, Canada, June 19-23
- Harding, O.V., and Steele, P.H., 1997. RIP-X: Decision Software to Compare Crosscut-First and Rip-First Rough Mill Systems. Wood Sci. And Technology 31 (1997):367-381
- Howard, A.F., 1988. Modeling sawmill production, costs, and profitability as a guide to preparing bids for timber. Forest Products Journal. 38(3):29-34
- Ingalls, R.G., 2002. Introduction to simulation, Proceedings of the 2002 Winter Simulation Conference, *In: E. Yücesan, C.H. Chen, J. L. Snowdon, J. M. Charnes (Eds.), Proceedings of the 2002 Winter Simulation Conference*, pp.7-16.
- Kemphorne, K.H., 1978. Whole mill simulation of small log sawmills with head sawyers. *In: Proceedings of The 1978 Winter Simulation Conferance*, Miami Beach, FL. Vol:2:684-692
- Kline, D.E., Wiedenbeck, J.K., Araman, P.A., 1992. Management of wood products manufacturing using simulation/animation, Forest Products Journal, 42/2:45-52.
- Klingstam, P., Gullander, P., 1999. Overview of simulation tools for computer-aided production engineering, Computers in Industry, 38: 173-186
- Kosturiak, J., Gregor, M., 1999. Simulation in production system life cycle, Computers in Industry, 38:159-172

- Kyle, R.G., Ludka, C.R., 2000. Simulating the furniture industry, *In: Proceedings of the 2000 Winter Simulation Conference*, 10-13 December 2000, Orlando, FL, USA, Vol: 2, pp: 1347-1350
- Lewis, D.W., 1985. Sawmill simulation and the Best Opening Face system:A user's guide, Gen. Tech. Rep. FPL-48. Madison, WI, 29 p.
- Lin, W.E., Kline, D.E., Araman, P.A., Wiedenbeck, J.K., 1995. Design and evaluation of log-to-dimension manufacturing systems using system simulation, *Forest Products Journal*, 45/3:37-44.
- McAdoo, J.C., 1969. Computer simulation of small log mill processing. *Forest Prod. J.*, 19(4):34-35
- Melton, R.H., Culbreth, C.T., Roberts, S.D., Joines, J.A., 2001. Using automation for finishing room capacity planning, *In: Peters, B. A., Smith, J. S., Medeiros, D. J., Rohrer, M. W. (Eds.), Proceedings of the 2001 Winter Simulation Conference*, Arlington, VA, pp. 959-96.
- Melton, R.H., Culbreth, C.T., Roberts, S.D., Joines, J.A., 2002. Design and evaluation of furniture finishing systems, *Forest Products Journal*, 52/7-8:27-33.
- Mendoza, G.A., Meimban, R.J. , Araman, P.A. , Luppold, W.G., 1991a. Combined log inventory and process simulation models for the planning and control of sawmill operations, *In: Proceedings: 23rd CIRP International Seminar on Manufacturing Systems*, 6-7 June 1991, Nancy- France
- Mendoza, G.A., Meimban, R.J., Luppold, W.G., Araman, P.A., 1991b. Combining simulation and optimization models for hardwood lumber production, *Proceedings: The 1991 SAP National Convention*, 4-7 August 1991, San Francisco, CA
- Moberg, L., and Nordmark, U., 2006. Predicting lumber volume and grade recovery for Scots pine stems using tree models and sawmill conversion simulation *Forest Prod. J.*, 56(4):68-74.
- Reeb, J.E., 2003. Simulating an extra grader in a sawmill, *Forest Products Journal*, 53/11-12: 81-84
- Reynolds, H.W., 1969. Sawmill simulation: concept and computer use. USDA Forest serv. Res. Note NE-100, 5pp, Upper Darby, Pa.
- Richards, D.B., 1973. Hardwood lumber yield by various simulated sawing methods. *Forest Prod. J.* 23(10):50-58
- Savsar, M., Kersavage, P.C. 1982. Mathematical Model for Determining The Quantity of Materials Produced in Sawmilling, *Forest Products Journal*, 32 (11/12): 35-38.
- Shannon, R.E., 1998. Introduction to the art and science of simulation, *In: Medeiros, D.J., et al. (Eds.), Proceedings of the 1998 Winter Simulation Conference*, Washington DC, pp. 7-14
- Smith J.S., 2003. Survey on the use of simulation for manufacturing system design and operation, *Journal of Manufacturing Systems*, 22/2:157-171
- Steele, P.H., Aguirre, J.E., 2004. The influence of batch versus segmented processing on rough mill yields, *Forest Products Journal*, 54/1: 40-46.
- Stiess, T., 1997. Simulation of lumber processing for improved raw material utilization, *In: Andradóttir, S., et al. (Eds.), Proceedings of the 1997 Winter Simulation Conference*, 7-10 December 1997, Atlanta, GA, USA, pp.1258-1264
- Sütçü, A., 2005. Bir mobilya üretim sisteminin simülasyonla yeniden tasarımı. Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Isparta, s.203 (yayınlanmamış)
- Sütçü, A., Tanrıtanır, E., Durmuşoğlu, M.B., Kuruca, H.İ., 2005. A methodology for re-designing a furniture manufacturing system, *In: Durmuşoğlu M.B., Kahraman, C. (Eds.), Proceedings of 35th International Conference on Computers and Industrial Engineering*, 19-22 June 2005, İstanbul, Türkiye, Vol. II, pp. 1813-1818
- Tanrıtanır, E., 1994. Tam zamanında üretim sistemi ve bir mobilya fabrikasında uygulaması, *İ.Ü. Orman Fakültesi Dergisi*, A 44/1: 31-50

ORMAN ÜRÜNLERİ ENDÜSTRİSİNDE BENZETİM DESTEKLİ ÇALIŞMALAR VE BİR BENZETİM ...

- Tanrıtanır E., Hocaoğlu, M.F., 1993. Tam zamanında üretim sistemi simülasyonu ve bir mobilya fabrikası örneği, *In: ORENKO 93 - II. Ulusal Orman Ürünleri Endüstrisi Kongresi*, KTÜ Orman Fakültesi, Trabzon, 6-9 Ekim 1993, pp.359-372.
- Tanrıtanır, E., Hocaoğlu, F., 1999. Bir mobilya fabrikasında optimal imalat politikasının belirlenmesi”, *Tr. J. of Agriculture and Forestry*, 23/Ek 3:699-705.
- Tanrıtanır, E., Sütçü, A., Alkan, H., Koruca, H. İ., 2004. Mobilya imalatında faaliyet maliyetleri yardımıyla simülasyon destekli personel organizasyonu, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, 19/2:151-160.
- Tarasiewicz, S., Leger, F., 1998. Modeling simulation control of the wood drying process, Part 1A set of PDE's as an internal model, *Drying Technology*, 16/6:1075-1084.
- Taylor, S E., Triche, M.H., Bender, D.A. Woeste, F.E., 1995. Monte-Carlo simulation methods for engineered wood systems, *Forest Products Journal*, 45/7-8: 43-50.
- Thomas, R.J., 1965. Analysis of yield of dimension stock from standart lumber grades. *Forest Prod. J.* 15(7):285-288
- Thomas, E.R., 1996. Prioritizing parts from cutting bills when gang-ripping first, *Forest Products Journal*, 46/10:61-66.
- Thomas, E.R., and Buehlmann, U., 2002. Validation of The ROMI-RIP Rough Mill Simulator. *Forest Products Journal*, 52(2): 23-30
- Thomas, E., and Weiss, J., 2006. Rough mill simulator version 3.0: An analysis tool for refining rough mill operations, *Forest products journal*, 56(5):53-58
- Tobin L.R., Bethel, J.S., 1969. Veneer recovery prediction and analysis through computer simulation. *Wood and Fiber Science*, Issue 2 – 1969
- Todoroki, C.L., Monserud, R.A., Parry, D.L., 2005. Predicting internal lumber grade from log surface knots: Actual and simulated results. *Forest Products Journal*, 55(6): 38-47
- Tong ve Zhang, 2006. Modelling jack pine lumber value recovery in relation to tree characteristics using Optitek simulation, *Forest Products Journal*, 56(1): 66-72
- Townsend, M.A., Lamb, T.W., 1991a. Detailed simulation of a real world job shop with subassembly requirements, *Simulation*, 57/2: 114-128.
- Townsend, M.A., Lamb, T.W., 1991b. Plant characterization and problem identification using plant historical data in a simulation environment, *Journal of Manufacturing Systems*, 10/1: 41-53.
- Tsolakides, J. A. 1969. A Simulation Model for Log Yield Study, *Forest Prod. J.* 19 (7): 21-26.
- Turner, I.W., 1996. A two-dimensional orthotropic model for simulating wood drying processes, *Applied Mathematical Modelling*, 20/1: 60-81.
- Wiedenbeck, J.K., Araman, P.A., 1994. Using manufacturing simulators to evaluate important processing decisions in the furniture and cabinet industries, *In: Proceedings, CIFAC '94, The Second International Symposium on Computers in Furniture and Cabinet Manufacturing*, Atlanta, GA, pp. 59-66
- Wiedenbeck, J.K., Kline, D.E., 1994. System simulation modeling: A case study illustration of the model development life cycle”, *Wood and Fiber Science*, 26/2: 192–204.
- Wu, S.Y., Morris, J.S., Gordon, T.M., 1994. A simulation analysis of the effectiveness of drum-buffer-rope scheduling in furniture manufacturing, *Computers Ind. Engng*, 26/4: 757-764
- Zülch, G., Grobel, T., 1996. Shaping the organization of order processing with the simulation tool FEMOS, *International Journal of Production Economics*, 46-47: 251-260.
- Zülch, G., Grobel, T., Jonsson, U., 1995. Indicators for the Evaluation of Organizational Performance, *In: Rolstadås, Asbjørn (Hrsg.), Benchmarking - Theory and Practice*, Chapman & Hall, 311-321.