

# Dinamik üretim sistemleri için kanban sayısının belirlenmesi: Bütünleşik bir yöntem

## Determining the number of kanbans for dynamic production systems: An integrated methodology

Özlem UZUN ARAZ<sup>1</sup>\*, Ceyhan ARAZ<sup>1</sup>, Özgür ESKİ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Endüstri Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Celal Bayar Üniversitesi, Manisa, Türkiye.  
ozlem.araz@cbu.edu.tr, ceyhan.araz@cbu.edu.tr, ozgur.eski@cbu.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 17.03.2015, Kabul Tarihi/Accepted: 26.05.2015  
\* Yazışılan yazar/Corresponding author

doi: 10.5505/pajes.2015.30306  
Araştırma Makalesi/Research Article

### Öz

Tam zamanında üretim sistemleri (TZÜ), işletmelerin doğru zamanda, müşterinin istediği miktarda üretim yapmalarına olanak sağlayan, böylelikle stoklarını azaltmaya teşvik eden bir yönetim felsefesidir. TZÜ felsefesinin en önemli parçası, malzeme hareketlerini gerçekleştirmek için kullanılan kanban sistemleridir. Kanban sistemlerinde, iş istasyonlarında kullanılacak kanban sayılarının belirlenmesi en temel problem olarak karşımıza çıkmaktadır. Kullanılacak kanban sayıları üretim sisteminin performansı üzerinde etkilidir. Bu çalışmanın temel amacı, Kanban sistemlerinde, kart sayılarının dinamik belirlenebilmesi için kullanılabilir bir yöntem geliştirmektir. Önerilen yöntemin temelinde, üretim sisteminin anlık veri alınarak izlenmesi ve sistem durum değişkenlerinde meydana gelen farklılıkların dikkate alınarak Kanban sayılarının yeniden düzenlenmesi yatmaktadır. Bu amaçla yapılan çalışmada benzetim, yapay sinir ağları ve Mamdani tipi bulanık çıkarsama sistemleri entegre edilerek bütünleşik bir dinamik kanban sayıları belirleme yöntemi geliştirilmiştir. Önerilen yöntem, benzetim ortamında modellenen hipotetik bir üretim sistemine uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar, önerilen yöntemin verimliliğini ve etkinliğini göstermiştir.

**Anahtar kelimeler:** Kanban üretim sistemleri, Benzetim, Yapay sinir ağları, Bulanık çıkarsama sistemleri

### Abstract

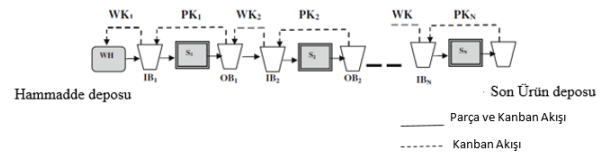
Just-in-time (JIT) is a management philosophy that reduces the inventory levels and eliminates manufacturing wastes by producing only the right quantity at the right time. A kanban system is one of the key elements of JIT philosophy. Kanbans are used to authorize production and to control movement of materials in JIT systems. In Kanban systems, the efficiency of the manufacturing system depends on several factors such as number of kanbans, container size etc. Hence, determining the number of kanbans is a critical decision in Kanban systems. The aim of this study is to develop a methodology that can be used in order to determine the number of kanbans in a dynamic production environment. In this methodology, the changes in system state is monitored in real time manner, and the number of the kanbans are dynamically re-arranged. The proposed methodology integrates simulation, neural networks and Mamdani type fuzzy inference system. The methodology is modelled in simulation environment and applied on a hypothetic production system. We also performed several comparisons for different control policies to show the effectiveness of the proposed methodology.

**Keywords:** Kanban manufacturing systems, Simulation, Artificial neural networks, Fuzzy inference systems

## 1 Giriş

Geleneksel üretim sistemlerinde işletmeler, stoğa üretim yaparak müşteri talebini karşılamaya çalışmaktadırlar. Bu tip üretim sistemlerinde büyük miktarlarda hammadde, yarı mamul, parça ve son ürün stoğu tutulmaktadır. Bu da işletmelerin büyük maliyetlere katlanmasına neden olmaktadır. Tam zamanında üretim (TZÜ) olarak adlandırılan çekme tipi üretim sistemlerinde, hammadde, yarı mamul ve son ürün stoklarının azaltılarak talep geldiğinde ve gerekli miktarda üretim yapılması hedeflenmektedir. TZÜ sistemlerinde, doğru malzemelerin, doğru zamanda ve doğru yerde bulunmasını sağlayan malzeme kontrol sistemine kanban sistemi adı verilmektedir [1]. Kanban, Japonca kart anlamına gelmektedir. Kartlar işin tipini, miktarını ve parça ile ilgili bilgileri içermektedir. Kanban sistemleri genellikle tek kart ve çift kartlı sistemler olarak ikiye ayrılırlar. N istasyonlu çift kartlı kanban üretim sisteminin genel çalışma prensibi Şekil 1'de gösterilmiştir.

Çift kartlı sistemlerde çekme kanbanları (WK) önceki istasyonlardan çekilecek malzeme miktarlarını belirlerken, üretim kanbanları (PK) iş istasyonlarında üretilecek parça miktarlarını ifade etmektedir.



Şekil 1: N istasyonlu çift kart kanban sistemi [2].

Kanban sisteminin temel hedefi, üretim birimleri arasında gerçekleşecek malzeme hareketlerinin etkin ve doğru şekilde yönetilmesini sağlayarak israfları azaltmak, müşteri memnuniyetini artırılmaktır. Kanban sisteminde üretimin etkinliği kanban büyüklüğü, kanban sayısı, taşıyıcı büyüklüğü gibi parametrelere bağlıdır. Kanban sistemlerindeki stok miktarı, sistemdeki kanban sayısı ile kontrol edilmektedir. Çok fazla sayıda kanban kullanılırsa ara stoklar artacak, gereğinden az sayıda kanban kullanılırsa müşteri talebinin karşılanmaması durumu söz konusu olabilecektir. Dolayısıyla kanban sayılarının doğru şekilde belirlenmesi, sistemin performansı ve etkinliği açısından en temel konu olarak ortaya çıkmaktadır.

Mevcut literatürde kanban parametrelerinden en önemlisi olan kanban sayılarının belirlenmesine yönelik olarak birçok

yöntem önerilmesine rağmen çalışmaların büyük kısmında kanban sayıları tek bir kere olmak üzere, statik olarak belirlenmiştir. Her ne kadar kanban sistemleri, kararlı ve değişkenliğin az olduğu üretim ortamları için önerilmiş sistemler olsa da günümüz piyasa şartlarında, talep değişkenlikleri, ürün tipi değişiklikleri gibi sık yaşanabilecek değişimlere yanıt vermeleri beklenmektedir. Mevcut kanban literatürü incelendiğinde, üretim ortamındaki değişkenliklerin dikkate alınarak, bu değişkenliklere yanıt verecek etkin yöntemlere ihtiyaç olduğu görülmektedir [3]. Bu çalışmada, kanban sayılarını dinamik olarak belirleyen bir yöntem önerilmektedir.

Kanban sistemleri gibi karmaşık sistemlerin ve ayrıca dinamik yapıdaki sistemlerin analiz edilmesinde sık kullanılan yöntemlerden biri benzetim çalışmasıdır. Ancak, benzetim çalışması ile tüm alternatiflerin denenip en uygun olan çözümün bulunması, alternatif sayısının çok olması sebebiyle, çoğu zaman mümkün olamamaktadır. Bunun yerine, meta-modelleme ile performans değerlerinin tüm alternatifler için tahminlenmesi daha kısa zamanda gerçekleşmektedir. Özellikle benzetim sonuçları ile eğitilmiş yapay sinir ağları, benzetim çalışmalarının yerine kullanılabilmekte ve etkin sonuç vermektedir [4],[5]. Bu sebeple Araz ve diğ. [4] tarafından statik kanban sistemlerinin performans değerlerinin tahminlenmesi için geliştirilen yapay sinir ağları modeli bu çalışmada da temel alınmıştır.

Bununla birlikte, geliştirilen yöntem, değişen durumları tespit ederek bunlara hızlı yanıt verebilecek bir karar destek sistemi oluşturmayı hedeflemektedir. Bu karar destek sisteminin, sistemi olumsuz etkileyen ani bir değişimde karar vericiye bir çözüm sunabilecek yapıda olması gerekmektedir. Önerilecek çözümün hem uygulanabilir olması hem kısa sürede ortaya çıkması önemlidir. Tüm bunların yanında oluşturulacak çözümün karar vericinin önem verdiği performans kriterlerini bir arada değerlendirebilen ve karar vericinin önceliklerini ifade eden bir yapıda olması gerekmektedir. Bu nedenlerden dolayı bu çalışmada; benzetim, yapay sinir ağları ve Mamdani tipi bulanık çıkarsama sistemleri entegre edilerek bütünlük bir yöntem geliştirilmiştir. Çalışmada, gerçek kanban üretim sisteminin modellenmesi benzetim yöntemi ile alternatif kanban sayılarının performans değerlerine etkisi yapay sinir ağları ile karar vericinin özel değerlendirmelerini de içerecek şekilde uygun kanban sayılarının belirlenmesi ise bulanık çıkarsama sistemi ile gerçekleştirilmiştir.

Çalışmanın ikinci bölümünde mevcut kanban literatürü özetlenmiştir ve çalışmanın ortaya çıkış nedenleri tartışılmıştır. Üçüncü bölümde geliştirilen yöntem ayrıntılı olarak anlatılmıştır. Dördüncü bölümde ise önerilen yöntem örnek bir sistem üzerinde uygulanmış ve sonuçlar tartışılmıştır. Son bölüm ise sonuç ve önerilere ayrılmıştır.

## 2 Literatür özeti

Kanban üretim sistemleri ile ilgili çalışmalar birçok farklı sınıflandırma altında incelenebilir. Yapılan çalışmalar kullanılan model yapısı (matematiksel model, benzetim modeli, Markov zinciri modeli vb.), çözüm yaklaşımı (sezgisel yöntemler, doğrusal programlama, tam sayılı programlama, dinamik programlama, vb.), kanban yapısı (çift kart kanban sistemleri, tek kart kanban sistemleri), karar değişkenleri (kanban sayısı, kanban büyüklüğü, sipariş geliş şekli, güven stoğu seviyesi, vb.), performans ölçütleri (kanban sayısı, servis seviyesi, stoksuzluk maliyeti, WIP, vb.), amaçlar (maliyet minimizasyonu, stok minimizasyonu, çıktı

maksimizasyonu, vb.), problem yapısı (yerleşim yapısı, zaman periyodu, üretim aşaması, üretilen ürün sayısı, üretim kapasitesi, vb.), varsayımlar (stokastiklik, üretim şekli, malzeme taşıma sistemi sistem güvenirliliği, vb.) gibi başlıklarda sınıflandırılabilir [6]. Bu çalışma kapsamında özellikle kanban sayısı ile ilgili değerlerin belirlenmesi üzerinde bir yöntem geliştirmesi amaçlandığı için, bu konu ile ilgili yapılan çalışmalar üzerinde durulacaktır.

İlgili literatür incelendiğinde, yapılan çalışmalarda kanban sistemleri, matematiksel programlama, Markov zincirleri ve simülasyon programlama yardımıyla modellenmiş ve uygun kanban parametrelerin bulunması için çeşitli yaklaşımlar kullanılmıştır. Gupta and Gupta [7], Karmarkar and Kekre [8], Philipoom ve diğ. [9] ve Moeeni ve diğ. [10] yaptıkları çalışmalarda kanban büyüklüğünün sistem üzerine etkisini farklı kanban problemleri için araştırmışlardır. Bu çalışmalarda talep değişkenliğinin sistem üzerine etkisi ihmal edilmiştir.

Kanban literatüründeki çalışmaların büyük bir bölümünde ise kanban sayıları sabit olarak almışlardır. Kochel ve Nielander [11] ise kanban sayısını belirlemek için optimum çözüm üreten bir yaklaşım önermişlerdir. Shahabudeen ve diğ. [12] ise benzetim tavlama yöntemi ve benzetim ile birlikte çift kart kanban sistemleri için nesne merkezli bir benzetim yaklaşımı geliştirmişlerdir. Hou ve Hu [13] pareto-optimal kanban sayısı ve büyüklüğü belirlemek üzere, simülasyon ve çok kriterli bir genetik algoritma tabanlı bir metodoloji geliştirmişlerdir. Lee [14], genetik algoritma, benzetim tavlama ve tabu arama algoritmaları ile toplam üretim maliyetlerini en küçükleyen kanban sayılarını değişik boyuttaki problemler üzerinde denemiş ve iki aşamalı tabu arama algoritmasının çözüm süresi ve kalitesi açısından daha iyi sonuç verdiğini ortaya koymuştur. Detaylı literatür taraması bilgisi Akturk ve Erhan [6], Huang ve Kusiak [15], Kumar ve Panneerselvam [16], Junior ve Filho'nun [17] çalışmalarında bulunabilir.

Bazı araştırmacılar da benzetimin zaman alıcı dezavantajından kurtulmak için meta modeller geliştirmişlerdir [4],[5],[18],[19]. Bu çalışmalardan Hurrion [19], Araz ve diğ. [4] ve Guneri ve diğ. [5] yaptıkları çalışmalarda meta model geliştirmek için yapay sinir ağları modellerini kullanmışlardır.

Ayrıca, kanban sistemleri için yapılan önceki çalışmaların büyük çoğunluğunda, üretim sisteminin durumunu ifade eden parametrelerin (gelişler arası süreler, üretim süreleri, vb.) genellikle planlama periyodu boyunca değişmediği varsayılmıştır [20]. Fakat gerçek hayatta üretim sistemleri birçok belirsizlik ve dinamiklik içermektedir. Tardif ve Maaseidvaag [21], müşteri talebini, stok miktarını, geri çevrilen sipariş miktarlarını dikkate alarak kanban sayılarını uyarlamalı olarak değiştirebilen, Markov Zinciri tabanlı bir çözüm yöntemi geliştirmiş ve talebin değişken olduğu durumlar için geliştirdikleri uyarlamalı çözüm yönteminin etkin sonuçlar verdiğini göstermişlerdir. Marand ve diğ. [22], Tardif ve Maaseidvaag'ın metodolojisini, stok miktarı ve geri çevrilen sipariş miktarlarını dikkate alarak hem kanban sayısını hem de üretim kapasitesini birlikte belirleyecek şekilde geliştirmişlerdir. Takahashi ve diğ. [23] talepteki belirsizlikleri ortalama ve varyans değişikliği ile dikkate alan reaktif bir yöntem geliştirmişlerdir. Talepte bir değişiklik olup olmadığı üssel ağırlıklandırılmış hareketli ortalama grafikleri ile tespit edilmiş ve kanban sayısı artırılıp azaltılmıştır. Yöntemin performansı benzetim modeli ile test edilmiştir. Shahabudeen ve Sivakumar [24], envanter miktarını ve geri çevrilen sipariş miktarlarını dikkate alarak kanban sayılarını uyarlamalı olarak

belirleyen genetik algoritma ve benzetim tavlama tabanlı çözüm yöntemleri geliştirmiş ve değişken üretim ortamları için bu yöntemleri karşılaştırmışlar ve benzetim tavlama yönteminin daha etkin sonuçlar verdiğini göstermişlerdir. Belisario ve Pierreval [3], benzetim-genetik algoritma tabanlı bir reaktif çekme sistemi tasarlamışlardır. Sistem gerçek zamanlı durum değişkenlerinin izlenip, kanban sayılarının artırılması, eksiltilmesi veya aynı kalması kararlarının karar ağacı yöntemi yardımıyla belirlenmesini önermektedir.

Mevcut çalışmalar incelendiğinde, yapılan bu çalışmanın literatüre yapacağı katkılar aşağıda vurgulanmıştır:

- Bu çalışma kapsamında geliştirilen yöntem, üretim ortamındaki dinamik değişimleri dikkate alarak, bu değişkenliklere hızlı yanıt verebilmekte, kolaylıkla uygulanabilmektedir,
- Gerçek hayat problemlerinde bu tür sistemler birden fazla kriter altında değerlendirilmektedir. Bu noktada karar vericilerin kriterleri öznel olarak değerlendirmeleri önemli hale gelmektedir. Mevcut kanban literatürü incelendiğinde bu tür öznel değerlendirmelere imkân veren yöntemlerin eksikliği gözlemlenmektedir. Bu nedenle bu çalışmada, karar vericinin birden fazla kriteri aynı anda ve öznel olarak değerlendirmesine imkân vermektedir.

Bu hedefler doğrultusunda bu çalışmada, benzetim, yapay sinir ağları ve Mamdani tipi bulanık çıkarsama sistemleri entegre edilerek, talep ve üretim sürelerindeki değişimlere göre kanban sayılarındaki değişime karar veren, dinamik yapıda olan bütünlük bir yöntem geliştirilmiştir.

### 3 Önerilen dinamik kanban sistemi

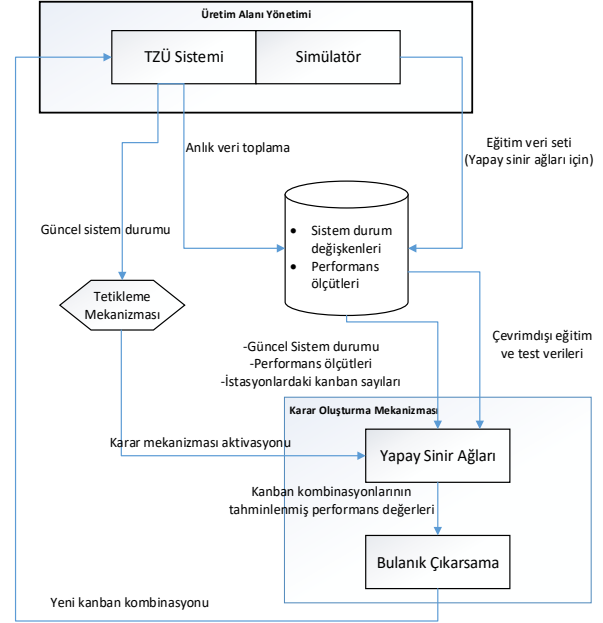
Bu çalışmada, üretim sürelerinin ve talep gelişlerinin değişken olduğu üretim sistemlerinde, kanban sayılarının dinamik olarak belirlenmesine imkân tanıyan, benzetim, yapay sinir ağları ve bulanık çıkarsama sistemlerini barındıran bütünlük bir yöntem önerilmiştir. Bu yöntemdeki sistematik daha önce Araz ve Salum'un [25] çalışmasında çift kaynak kısıtlı üretim sistemlerinin çizelgelenmesinde kullanılmıştır. Bu çalışmada ise bu sistematigi baz alarak uygun kanban parametrelerinin belirlenmesi amacı ile bir yöntem önerilmiştir. Önerilen yöntemin genel işleyişi Şekil 2'de sunulmuştur.

Önerilen yöntem üç temel modülü bir araya getirmektedir. Birinci modül üretim sahasının kontrolü ve benzetim modellemesi modülüdür. Bu modül, önerilen yöntemin uygulanması için gerekli olan üretim sahasından durum değişkenleri (talep geliş, üretim süreleri, yarı mamul seviyeleri vb.) ile ilgili verilerin toplanması sistemini ve sistem ile ilgili analizlerin yapılabilmesi için gerekli olan sistemin benzetim modelini içermektedir.

Bu modül için uzun dönem sistem performansının hesaplanabilmesini sağlayacak üretim sisteminin benzetim modelinin oluşturulması gerekmektedir. Üretim sisteminin içerdiği değişkenliklerin düzgün yansıtılabilmesi için oluşturulan benzetim modelinin parametrik yapıda olması şarttır.

Önerilen yöntemin ikinci modülü benzetim modeli çıktıları ile eğitilmiş Yapay sinir ağları modelinin kullanımını öngörmektedir. Önerilen yöntemin temelinde, önceden belirlenmiş belli zaman periyotlarında karar noktaları oluşturmak, bu karar noktalarında da mevcut sistem durum değişkenlerinin ve sistem performans ölçütlerinin analiz edilerek uygulanabilecek olası tüm kanban sayılarının

benzetim modeli üzerinden denenerek, en uygun kanban sayısı kombinasyonun seçilmesi yatmaktadır. Ancak tüm kanban sayısı alternatifleri için benzetim modelinden performans tahmini yapmak zaman alıcı bir işlem olduğu için, bu aşamada yapay sinir ağları ile benzetim modeli sonuçlarının tahminlenmesi amaçlanmıştır. Bu sayede önerilen yöntemin, değişen üretim şartlarına göre, kısa sürede çözüm üretmesi mümkün hale gelmektedir.



Şekil 2: Önerilen yöntemin genel işleyişi [25].

Üçüncü aşamada olası kanban sayıları ve bunlara karşılık gelen üretim performans tahminleri dikkate alınarak, karar vericinin öznel değerlendirmelerine göre en uygun kanban sayıları bulanık çıkarsama sistemi yardımıyla belirlenmektedir. Bulanık çıkarsama sisteminden elde edilen sisteme uygulanacak kanban sayıları gerçek sistemde uygulamaya alınır, aynı zamanda üretim sisteminin benzetim modeli değişen sayılara göre güncellenerek uzun dönem performans değerleri yeniden hesaplanır.

Özetle önerilen modelin geliştirme adımları temel olarak aşağıda sırası ile verilmiştir:

- Kanban üretim sistemleri için genel bir benzetim modelinin geliştirilmesi,
- Bu üretim sistemi için genel bir Yapay Sinir Ağları Modeli oluşturmak için gerekli verilerin benzetim modelinden alınması,
- Yapay Sinir Ağları Modelinin benzetimden alınan veriler ile eğitilmesi ve test edilmesi,
- Karar destek sistemi için kullanılacak olan Mamdani tipi bulanık çıkarsama sistemi modelinin oluşturulması,
- Geliştirilen modellerin entegrasyonu sağlanarak, üretim sisteminin dinamik olarak kanban sayılarının belirlenmesi,
- TZÜ sisteminin izlenerek, belirli periyotlarla kanban sayılarının önerilen yöntem ile yeniden belirlenmesi.

Aşağıda sistemin modülleri ve kullanılan yöntemler sırasıyla açıklanmıştır.

### 3.1 Benzetim modellemesi

Bu çalışmanın ilk aşaması kanban sisteminin uygulanacağı üretim sistemlerini genel ve parametrik olarak ifade edebilecek bir benzetim modelinin geliştirilmesidir. Bu çalışmada ilk adım olarak ARENA 14.0 programı kullanılarak geliştirilmiş modelin kodlanması gerçekleştirilmiştir.

Geliştirilen model  $N$ -iş istasyonu olan bir kanban üretim sistemidir. İstasyon sayısı, buna bağımlı olarak gerçekleştirilecek üretim ve çekme kanban kartları, konteynırlar ve kapasiteleri, iş istasyonu üretim süreleri, müşteri gelişleri ve talep büyüklükleri parametrik olarak modellenmiştir. Böylece geliştirilen model çok farklı büyüklükteki ve yapıdaki üretim sistemlerine uygun hale getirilmiştir.

### 3.2 Yapay sinir ağları modeli

Bu çalışmanın kapsamında bir karar destek sistemi geliştirmek ana hedefdir. Bu karar destek sistemi, sistemi olumsuz etkileyen ani bir değişimde karar vericiye bir çözüm sunabilecek yapıda olması gerekmektedir. Önerilen yöntem, sistemden gelen anlık verileri analiz edecek ve benzetim modelini ona göre güncelleştirecektir. Karar destek sistemi, daha önceden belirlenen belli zaman periyotlarında, mevcut sistem durum değişkenleri ve performans ölçütleri dikkate alınarak mevcut sistemde uygulanan kanban sayılarının sistem performans ölçütlerini istenen düzeye getirmek için değiştirecektir. Bu Karar Destek Sisteminin o andaki en uygun çözümü bulmak için kullanacağı bir araştırma algoritmasına ihtiyacı vardır. Bu algoritmanın hem çok hızlı olması hem de etkin sonuca varması gerekmektedir. Uygun çözüm o anda uygulanabilecek tüm alternatiflerin denenmesi olacaktır. Fakat bunun gerçek sistem üzerinde uygulanması imkânsızdır. O nedenle sistemin tüm özelliklerini yansıtan bir model olan benzetim modeli üzerinde bu alternatifler denenebilir. Fakat bu da dinamik bir sistem için çok yavaş olacaktır. Bunun yerine bir meta-model geliştirerek sonuçları tahminlemek daha önce literatür kısmında açıklandığı gibi önerilen bir yöntemdir.

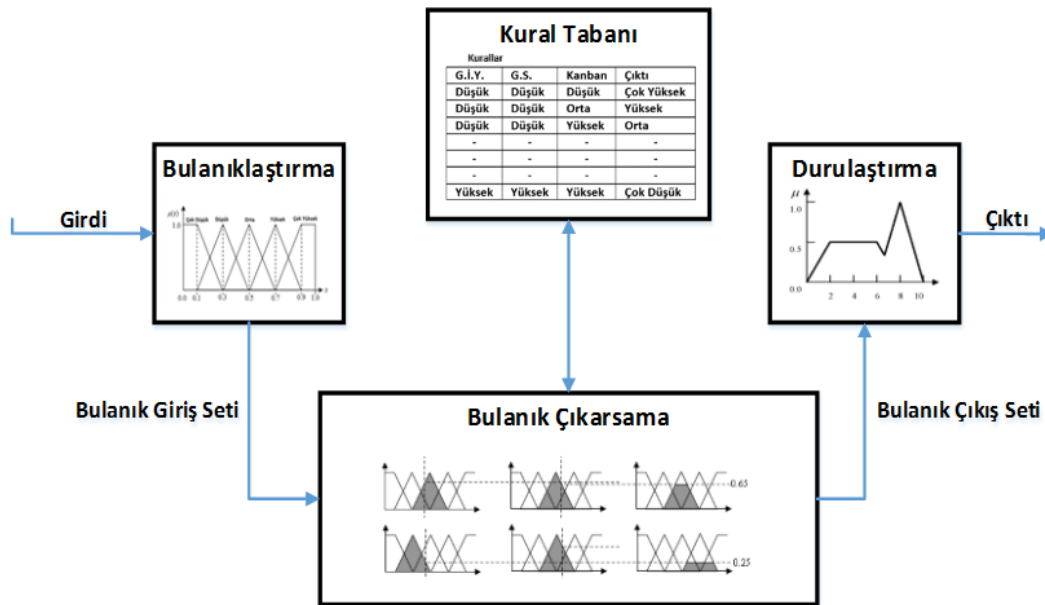
Meta-modelleme için literatürde çok kullanılan yöntemler

regresyon modelleri ve yapay sinir ağları modelleridir. Regresyon tabanlı meta-modeller bu tarz lineer olmayan ve karmaşık yapıdaki sistemlerde iyi çalışmamaktadır. Bu şekilde kompleks, lineer olmayan ve stokastik sistemler için yapay sinir ağları modellerinin daha iyi sonuç verdiği birçok çalışma ile desteklenmiştir [4]. Bu sebeple çalışma kapsamında da üretim sistemini matematiksel olarak modellemek için yapay sinir ağları tabanlı bir meta-model oluşturulmuştur. Oluşturulan yapay sinir ağları modeli Araz ve diğ. [4]'nin daha önce statik kanban sistemi tasarımı çalışmasında kullandığı model ile aynı yapıdadır.

### 3.3 Bulanık çıkarsama sistemi

Üretim sisteminde meydana gelen değişimlere karşılık denenebilecek alternatif kanban sayısı kombinasyonlarının performans sonuçları oluşturulan yapay sinir ağları modeli ile bulunacağı bir önceki bölümde bahsedilmiştir. Üretim sistemlerinin doğası gereği bu alternatif kanban sayısı kombinasyonlarından hiçbirisi bütün performans ölçütlerinde en iyi performans gösteren kombinasyon olarak ortaya çıkmamaktadır. Bu noktada alternatif kanban kombinasyonlarından en iyisini seçmek için birçok kriterli değerlendirme yapmaya ihtiyaç olduğu mutlaklıdır. Bu çalışmada karar vericinin öznel değerlendirmelerini yansıtmaya izin veren yapısı, kullanım kolaylığı ve belirsizlikleri dikkate alma becerisi açısından bulanık çıkarsama sistemi tabanlı bir seçim yöntemi uygulanmıştır.

Bulanık küme teorisi Zadeh [26] tarafından, karar verme sürecinin doğasında var olan belirsizliklerle dilsel değişkenler ve üyelik derecesi kavramlarını kullanarak baş etmeye çalışan bir düşünce sistemi olarak sunulmuştur. Mamdani bulanık çıkarsama sistemi [27] ise bulanık küme teorisini kullanarak verilen girdileri istenilen çıktılara dönüştüren kural tabanlı bir yöntemdir. Bu yöntem içerisinde üyelik fonksiyonları, bulanık mantık operatörleri ve *if-then* kurallarını kullanır. Şekil 3'te belirtildiği gibi Mamdani bulanık çıkarsama sistemi dört ana aşamadan oluşmaktadır: Bulanıklaştırma, Kural tabanı, Bulanık Çıkarsama ve Durulaştırma.



Şekil 3: Bulanık çıkarsama sistemi.

Bulanıklaştırma adımında girdiler dilsel değişkenler (ör. yüksek, orta, düşük) tanımlanarak bulanık üyelik fonksiyonları yoluyla ifade edilirler. Bulanık üyelik fonksiyonlarının birçok biçimi ve tipi bulunmaktadır. En çok kullanılan bulanık üyelik fonksiyon tipleri doğrusal üçgensel ve doğrusal ikizkenar yamuk fonksiyonlarıdır. Bulanık çıkarsama sistemleri kesin sayılarla ifade edilen girdilerden bir sonuç çıkarsayabilmesi için uzman görüşlerine dayalı bir kurallar kümesine ihtiyaç duyar.

Klasik bir Mamdani çıkarsama sisteminde kural aşağıdaki şekilde oluşturulabilir:

$$\text{Eğer } A_1 = m_1 \text{ ve } A_2 = n_1 \text{ ise } B = k_1 \quad (1)$$

Burada,  $A_1$  ve  $A_2$  girdileri,  $B$  ise çıktıyı temsil ederken,  $m_1$ ,  $n_1$  ve  $k_1$  bulanık üyelik fonksiyonları ile temsil edilen dilsel ifadeleri göstermektedir. Çıkarsama aşaması dilsel ifadelerle oluşturulan kural kümesini, girdilerin kesin değerlerini ve dilsel ifadelerin bulanık üyelik fonksiyonlarını bir arada değerlendirerek çıkarsama sonucunun bulanık bir sayı olarak verildiği aşamadır. Son aşamada ise bulanık sonuç farklı durulaştırma yöntemlerinden biri ile (ör. Ağırlık merkezi gibi) kesin sonuca dönüştürülür.

Bu çalışmada yapay sinir ağları modeli ile farklı kriterler altında performansları tahmin edilen alternatif kanban sayısı kombinasyonlarının karar vericinin öznel değerlendirmelerini dikkate alarak en iyiden en kötüye doğru sıralanması ve uygulanacak olan kombinasyonun seçimi bulanık çıkarsama sistemi ile yapılmıştır. Kullanılan üyelik fonksiyonları, kural kümesi ve seçilen yöntemler örnek uygulama üzerinden bir sonraki bölümde anlatılacaktır.

## 4 Örnek uygulama

Bu bölümde önerilen yöntem hipotetik bir TZÜ sistemi üzerine uygulanacak ve periyodik olarak kanban sayılarının değiştirilmesinin performans üzerine etkisi araştırılacaktır. Önerilen yöntemin etkinliği optimum statik kanban sayısı performansı ile karşılaştırılacaktır. Alt bölümlerde yöntemin adımlarına detaylı olarak yer verilecektir.

### 4.1 Benzetim modeli

Bu çalışma kapsamında ilk önce çift kart kanban (çekme ve üretim) ile çalışan bir TZÜ sisteminin genel yapısı oluşturulmuştur. Geliştirilen model  $N$ -iş istasyonu olan bir üretim sistemidir. İstasyon sayısı, buna bağımlı olarak gerçekleşecek üretim ve çekme kanban kartları, konteynırlar ve kapasiteleri, İş istasyonu üretim süreleri, müşteri gelişleri ve talep büyüklükleri parametrik olarak modellenmiştir. Böylece geliştirilen model çok farklı büyüklükteki ve yapıdaki üretim sistemlerine uygun hale getirilmiştir. Çalışılacak TZÜ sisteminin benzetim modeli, ARENA 14.0 programı aracılığı ile gerçekleştirilmiştir. Model geliştirme aşamasında dikkate alınan varsayımlar aşağıda belirtilmiştir:

- Önerilen yöntemin uygulanması için seçilen üretim sisteminde 5 iş istasyonu yer almaktadır. Her iş istasyonunda işlenecek malzemelerin biriktirildiği girdi ara stok alanı ve işlenen ürünlerin diğer istasyonlara aktarılmak için beklettiği bir çıktı ara stok alanı mevcuttur (bk. Şekil 1),
- Hammadde sağlayan ara stok alanlarında sınırsız kapasite olduğu varsayılmıştır,

- Üretim kanbanlarına ait transfer zamanları ihmal edilmiştir,
- Çekme kanbanlarının istasyonlar arasındaki transfer zamanları 6 dakika olarak varsayılmıştır,
- Parçalar taşıma kapasitesi 1 ile 3 arasında değişen konteynırlar ile taşınmaktadır,
- Bir iş istasyonunda bulunan kanban Kartı sayıları minimum 2 ile maksimum 5 arasında değişmektedir. Bir iş istasyonunda en az 1 adet üretim kanbanı ve en az 1 adet çekme kanbanı bulunmak zorundadır,
- Talepler FCFS (ilk gelen ilk servis alır) kuralına göre karşılanır,
- Uygulama için seçilen hipotetik TZÜ sisteminin dinamik yapısını oluşturmak için sistem parametrelerinden iki tanesinin zaman bağılı olarak değiştiği varsayılmıştır. Bu parametreler talepler için gelişler ara süre ve iş istasyonlarındaki işlem sürelerinin varyansı olarak belirlenmiştir. Gelişler arası süre için "Düşük", "Orta" ve "Yüksek" olmak üzere 3 farklı seviye seçilmiştir. Seçilen her bir dağılıma ait 5000 adet veri türetilerek benzetim modelinde gelişler arası süre üretmek için kullanılmıştır. Kullanılan bu verilerin varyansı Tablo 1'de verilmiştir. Bu veriler ile sistemde bazı dönemlerde daha sık talep gelişi olmakta bazı dönemlerde ise daha seyrek talep gelişi olmaktadır. Bu seviyelere karşılık gelen olasılık dağılımları Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1: Gelişler arası süre parametresinin seviyeleri.

Seviye	Dağılım	Varyans*
Düşük	Gamma (2.25,4)	0.0055
Orta	Gamma (8.5,1)	0.0189
Yüksek	Gamma (19.125,0.44)	0.0421

\*: 5000 adet veri için.

Seçilen diğer parametreye "Düşük" ve "Yüksek" olmak üzere 2 seviye belirlenmiştir. Bu seviyelere göre oluşturulmuş her iş istasyonuna ait işlem süreleri Tablo 2'de verilmiştir. Bu dağılımlardan üretilen işlem süreleri incelendiğinde düşük olarak adlandırılan seviyede daha dar bir aralıkta süreler üretilirken, yüksek olarak adlandırılan seviyede daha geniş aralıkta süreler üretilmektedir. Bu da sistemdeki üretim sürelerinden kaynaklanan değişkenliği artırmaktadır.

Tablo 2: İş istasyonlarına ait işlem sürelerinin olasılık dağılımları.

İş İstasyonu	Düşük	Yüksek
İş istasyonu 1	Normal (5,0.3)	Normal (5,1.5)
İş istasyonu 2	Normal (8,0.3)	Normal (8,1.5)
İş istasyonu 3	Normal (6,0.3)	Normal (6,1.5)
İş istasyonu 4	Normal (6,0.3)	Normal (6,1.5)
İş istasyonu 5	Normal (5,0.3)	Normal (5,1.5)

- Sistem dinamikliğini sağlamak için Tablo 1 ve Tablo 2’de dağılımları verilen sistem parametrelerin, analiz periyodu boyunca değişimi Tablo 3’te verilen olasılık dağılımlarına göre gerçekleştirilmiştir. Bu tabloda verilen olasılık dağılımlarından türetilen rastgele sayıların benzetim saatine karşılık gelen noktalarda gelişler arası süre ve işlem süresi parametrelerinin seviyeleri belirlenmiştir. Hangi seviyenin uygulanacağı da gelişler ara süre ve her iş istasyonundaki işlem süreleri için sırası ile Uniform (1,3) ve Uniform (1,2) olasılık dağılımlarına göre belirlenmiştir. Örneğin, analiz periyodunun ilk anından 5118.63 dakika sonra gelişler arası sürenin seviyesi “1” yani düşük olarak belirlenmiştir. Ayrıca başlangıçtan 4723.92 dakika sonra da işlem süreleri seviyesi “1” olarak yani düşük seviye olarak belirlenmiştir. Bu parametrelerin zaman içerisinde değişimi benzetim modeline entegre edilerek oldukça karmaşık ve dinamik yapıda bir TZÜ sistemi modeli oluşturulmuştur.

Tablo 3: Gelişler arası süre ve üretim sürelerindeki değişkenlik.

Sistem Durum Değişkeni	Dağılım
Gelişler arası süre	Uniform (3840,10560)*
İşlem süreleri	Uniform (2880,9600)*

\*: Süreler dakika cinsinden.

- Benzetim modelinin çalışması için yapılan çeşitli analizler sonucunda belirlenen parametreler Tablo 4’te verilmiştir.

Tablo 4: Benzetim modeli parametreleri.

Benzetim Parametreleri	Değerleri
Planlama periyodu	3 ay
Günlük çalışma süresi	480*2=960 dakika (2 vardiya)
Aylık çalışma süresi	20 gün
Isınma süresi (warm-up)	9600 dakika-10 gün
Tekrar sayısı (replication)	15

Benzetim modelinin tekrar sayısının uygunluğu “mutlak hassasiyet yöntemi” ile kontrol edilmiştir. Isınma periyodunun hesabında “Welch’in grafiksel metodu” [28] kullanılmıştır. Bu çalışma kapsamında varyans azaltma yöntemi olarak Genel Rastgele Sayılar (Common Random Numbers) yaklaşımı kullanılmıştır.

Çalışmada kanban sayılarının belirlenmesinde dikkate alınacak çoklu performans ölçütleri: “Ortalama Müşteri Bekleme Zamanı” (GZ), “Ortalama Geciken İş Yüzdesi” (GİY), “Toplam Kanban sayısı” (KS) olarak belirlenmiş olup, hesaplamaları benzetim modeli içerisinde gerçekleştirilmiştir.

#### 4.2 Yapay sinir ağları

Yöntemin adımları açıklanırken bahis edildiği gibi geliştirilen karar destek sistemi, doğru Kanban sayılarını en hızlı şekilde karar vericiye önermelidir. Her karar noktasında sistemden alınan sistem durum değişkenleri ve performans ölçütleri ile ilgili veriler değerlendirilerek yeni kanban sayılarının belirlenmesi gerekmektedir. Bunun içinde olabilecek olası tüm alternatiflerin benzetim modeli üzerinde uygulanması ve sonuçlarının alınması gerekmektedir. Daha önceki bölümlerde anlatıldığı gibi bu çok zaman alıcıdır. Bu nedenle her alternatifin denenmesi yerine her alternatifin performansı tahmin eden meta-modeller kullanılacaktır. Bu çalışmada

meta-modelleme aracı olarak “Geri Beslemeli Yapay Sinir Ağları” (backpropagation neural network-BPNN) modelleri kullanılacaktır. Kullanılacak olan Yapay sinir ağları modelinin oluşturulması yöntemin geliştirilmesi aşamasında yapılmaktadır. Bu model bir kez geliştirildikten sonra yöntemin uygulanması sırasındaki karar noktalarında sadece tahminleme amaçlı kullanıldığından yöntemden çok hızlı sonuç alınmaktadır.

Bu çalışmada yapay sinir ağı tabanlı meta-modelleme çalışması her performans ölçütü için gerçekleştirilmiştir. Tüm geliştirilen meta-modellerde; karar noktasından önceki periyodun sistem durum değişkenleri, performans ölçütleri ve uygulanmış olan kanban kombinasyonu, bu periyot boyunca uygulanacak olan sistem değişkenleri ve uygulanabilecek olası kanban kombinasyonu girdi değişkeni olarak yer almaktadır. Dinamik yapıda bir değerlendirme için kullanılan BPNN modellerinin girdi değişkenleri Tablo 5’te verilmiştir. Her modelin çıktuları ise planlama periyodu için beklenen performans değerleridir.

Tablo 5: Yapay sinir ağları modellerinin girdi değişkenleri.

Girdi Değişken No	Değişken Adı	Anlamı
1-5	WKit	i. iş istasyonun t. periyottaki Çekme Kanban Sayısı; $i=1, \dots, 5$
6-10	PKit	i. iş istasyonun t. periyottaki Üretim Kanban Sayısı; $i=1, \dots, 5$
11-15	WKit+1	i. iş istasyonun t+1. periyottaki Çekme Kanban Sayısı; $i=1, \dots, 5$
16-20	PKit+1	i. iş istasyonun t+1. periyottaki Üretim Kanban Sayısı; $i=1, \dots, 5$
21	GMt	t. periyot sonunda oluşan ortalama GZ
22	GİYt	t. periyot sonunda oluşan ortalama GİY
23	WIPt	t. periyot sonunda oluşan ortalama WIP miktarı
24-26	Ajt	t. periyot boyunca uygulanan gelişler arası süre seviyesi yapay değişkeni; $j=1, 2, 3$
27-28	Ptkt	t. periyot boyunca uygulanan işlem süresi değişkenliği seviyesi yapay değişkeni; $k=1, 2$
29-31	ajt+1	t+1. periyot boyunca uygulanacak gelişler arası süre seviyesi yapay değişkeni; $j=1, 2, 3$
32-33	Ptkt+1	t+1. periyot boyunca uygulanan işlem süresi değişkenliği seviyesi yapay değişkeni; $k=1, 2$

Bu çalışma kapsamında, yapay sinir ağları modelleri geliştirilirken belirlenmesi gereken parametreler deneme-yanılma analizleri ile gerçekleştirilmiştir. İleri beslemeli öğrenme yöntemi kullanılmış olup geliştirilen modellerde kullanılan parametreler Tablo 6’da verilmiştir.

Sistemin herhangi bir karar noktasında uygulanacak olan 400 alternatiften 350’si yapay sinir ağları modellerinin eğitimi için 50 tanesi ise yapay sinir ağları modellerinin test edilmesi için kullanılmıştır.

Bu alternatiflerin oluşturulmasında uzun bir süre için alınan planlama periyodunun hangi periyot aralıklarının veri almak için seçileceği Tablo 7’de verilen rastgele değişkenlere göre yapılmıştır.

Tablo 6: Dinamik yaklaşımda kullanılan yapay sinir ağları parametreleri.

Eğitilen Sinir Ağı	Parametreler	Ortalama Müşteri Bekleme Zamanı	Geciken İş Yüzdesi	
Periyot-3 gün	Giriş sayısı	33	33	
	Çıktı sayısı	1	1	
	Gizli katman sayısı	1	1	
	Gizli katmandaki hücre sayısı	5	5	
	Öğrenme oranı	0.1	0.1	
	Momentum katsayısı	0.7	0.7	
	Aktivasyon fonksiyonu	Sigmoid	Sigmoid	
	Tekrarlama sayısı	20.000	20.000	
	Periyot-1 hafta	Giriş sayısı	33	33
		Çıktı sayısı	1	1
Gizli katman sayısı		1	1	
Gizli katmandaki hücre sayısı		4	7	
Öğrenme oranı		0.1	0.1	
Momentum katsayısı		0.7	0.7	
Aktivasyon fonksiyonu		Sigmoid	Sigmoid	
Tekrarlama sayısı		20.000	20.000	
Periyot-2 hafta		Giriş sayısı	33	33
		Çıktı sayısı	1	1
	Gizli katman sayısı	1	1	
	Gizli katmandaki hücre sayısı	5	7	
	Öğrenme oranı	0.1	0.1	
	Momentum katsayısı	0.7	0.7	
	Aktivasyon fonksiyonu	Sigmoid	Sigmoid	
	Tekrarlama sayısı	20.000	20.000	

Tablo 7: Deney düzenleme yapılırken kullanılacak periyot belirleme dağılımları.

Periyot Uzunluğu	Kaçıncı Periyotların Seçileceğini Gösteren Dağılım
3 gün	Uniform (3,17)
1 hafta	Uniform (3,10)
2 hafta	Uniform (2,5)

Yapılan eğitimler sonunda geliştirilen modeller test verileri ile incelenmiş Tablo 8'deki sonuçlara ulaşılmıştır. Önerilen yöntemi karşılaştırmak için kullanılacak olan statik yaklaşımın parçası olan yapay sinir ağları modelleri Araz ve diğ.'nin [4] yaptıkları çalışmada kullandıkları modellerdir. Aynı modeller yeni sistem parametrelerine göre tekrar eğitilip test edilmiştir.

Elde edilen sonuçlar göstermiştir ki test verilerine göre geliştirilen yapay sinir ağları tabanlı meta-modeller küçük hata oranları ile sistem performans değer tahmini yapabilmektedir.

Tablo 8: Yapay sinir ağları modelleri test sonuçları.

Eğitilen Sinir Ağı	Hata Oranları	Ortalama GZ	Ortalama GİY
Statik	Ortalama Hata Kareler Toplamı	0.000524	0.001019
	% Hata	0.764122	0.968951
	R	0.994502	0.992135
Periyot-3 gün	Ortalama Hata Kareler Toplamı	0.000434	0.000283
	% Hata	6.834503	3.205684
	R	0.991853	0.992157
Periyot-1 hafta	Ortalama Hata Kareler Toplamı	0.000701	0.000291
	% Hata	6.364013	2.812118
	R	0.983738	0.991432
Periyot-2 hafta	Ortalama Hata Kareler Toplamı	0.002059	0.001979
	% Hata	11.652675	6.196522
	R	0.9407838	0.937647

#### 4.3 Bulanık çıkarsama sistemi

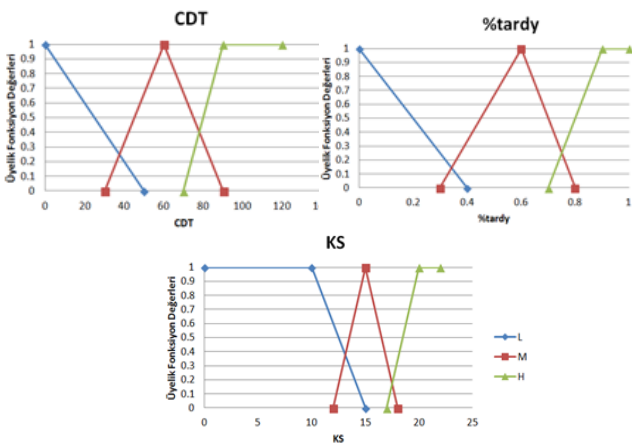
Bu çalışma kapsamında, herhangi bir andaki sistem durum değişkenlerine uygun olan kanban sayısının belirlenmesi karar noktası olarak tanımlanmaktadır. Bu karar noktası için, olası tüm alternatiflerin her performans ölçütü için mevcut sistem durumuna ait sonuçlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Dinamik bir sistemde karar mekanizmasının çok hızlı çalışması gerektiğinden, bu alternatiflere ait sonuçlar geliştirilen yapay sinir ağları modellerinden elde edilir. Bu aşamada tüm performans ölçütleri açısından en uygun sonucu veren alternatifin belirlenmesinde çok kriterli bir karar verme yöntemine ihtiyaç duyulmaktadır. Oluşturulan yöntemin uygulanacağı sistemlerin yapısı ve karar vericilerin bu tip problemlerdeki yapısal istekleri nedeni ile karar verme yöntemi olarak Mamdani Tipi Bulanık Çıkarsama Sistemi seçilmiştir ve Arena 14.0 programında kodlanmıştır.

Yöntem geliştirilirken bu aşamada ilk yapılması gereken, daha önceki aşamalarda tanımlanmış olan performans ölçütlerini bulanık tabanlı karar destek sisteminin girdileri olarak tanımlamak olacaktır. Bu çalışma kapsamında daha önce de belirtildiği gibi önerilen yöntemin etkinliğini göstermek için üç farklı performans ölçütü değerlendirilmeye alınmıştır. Bunlar aşağıdaki şekilde belirlenmiştir:

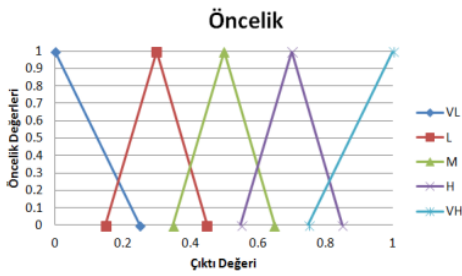
- Ortalama Müşteri Bekleme Zamanı,
- Ortalama Geciken İş Yüzdesi,
- Toplam Kanban Sayısı.

Bulanık karar destek sistemi için ilk aşamada, her bir performans ölçütünü ifade edecek şekilde, sözel değerlendirmelere imkân tanıyan, bulanık üyelik fonksiyonları "DÜŞÜK", "ORTA", "YÜKSEK" olmak üzere üç seviyede tanımlanmıştır. Üyelik fonksiyonları Şekil 4'te sunulmuştur.

Bu bulanık çıkarsama sisteminin çıktı değerini ifade etmek için "Çok Düşük", "Düşük", "Orta", "Yüksek", "Çok Yüksek" olmak üzere 5 tip üyelik fonksiyonu tanımlanmıştır. Bu yöntem de seçilen çıktı değeri, değerlendirilen alternatifin üç performans değerinin aynı anda değerlendirilmesinden elde edilen öncelik derecesidir (FIS). Çıktı için oluşturulan üyelik fonksiyonlarının formu, Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 4: Performans ölçütlerine ait üyelik fonksiyonları.



Şekil 5: Öncelik derecesine ait üyelik fonksiyonları.

Tüm alternatifler için bu model çalıştırılıp her biri için bir öncelik değeri Mamdani modeli tarafından belirlenmektedir. Şekil 6'da kullanılan bulanık çıkarsama sisteminin şematik gösterimi verilmiştir. Bu sistemden elde edilen değer ile tüm performans ölçütleri için bütünlük bir öncelik değeri hesaplanmaktadır. Bu değeri en yüksek olan alternatif mevcut sisteme uygulanmak için seçilecektir. Sistemin çalışması için üç girdi değerinin üç seviyesini içerecek şekilde toplam 27 kural tanımlanmıştır.

Her bir değişkene ait üyelik fonksiyon değerleri benzetim modelinden alınan sonuçlar incelenerek belirlenmiştir. Çıkarsama yapmak için oluşturulan kurallar ise karar vericinin önceliklerine göre belirlenmiştir. Çalışmanın bundan sonraki aşaması geliştirilen yöntemin seçilen bir sistem üzerinde uygulanarak sonuçlarının alınması, geliştirilen yöntemin statik sistem ile karşılaştırılıp etkinliğinin ölçülmesidir.

#### 4.4 Sonuçlar

Önerilen yöntemin etkinliğini göstermek için sonuçlar statik yapıdaki kanban sayısı belirleme sistemi ile karşılaştırılacaktır.

Literatürde bu amaçla yaygın olarak kullanılan yaklaşım, üretim periyodu boyunca başlangıç noktasında belirlenen kanban sayılarının periyod sonuna kadar değişmeden kullanılması mantığına dayanmaktadır. Bu yaklaşımda periyod boyunca meydana gelen tüm değişimler göz ardı edilmektedir. Bu yöntemin uygulaması dinamik yapıya göre daha kolay olmaktadır.

#### 4.4.1 Statik kanban sayılarının belirlenmesi

Bu çalışmada statik kanban sayıları belirlenirken önerilen yöntemin statik hali kullanılmaktadır. Bir başka deyişle yapay sinir ağları ve benzetim modellemesi yardımı ile alternatiflerin periyod boyunca oluşacak ortalama performans değerleri tahmin edilmektedir. Bu yaklaşımda kullanılan yapay sinir ağları dinamik yapıda kullanılan yapay sinir ağları modellerine yapı olarak benzetmekle beraber bazı farklılıklar göstermektedir. Modellerin girdi değişkenleri olarak sadece alternatif kanban kombinasyonunu kullanması en büyük farkı yaratmaktadır. Bu yaklaşımda her performans ölçütü için geliştirilen yapay sinir ağları modelleri, sistem durum değişkenlerini dikkate almadan tüm periyod sonundaki ortalama performans değerlerini tahmin etmek için kullanılmaktadır. Bu yaklaşımın etkin sonuçlar verdiği daha önce Araz ve diğ.'nin [4] gerçekleştirdiği çalışmada gösterilmiştir. Çalışmada birden fazla performans ölçütünün tahmin değerlerinin aynı anda değerlendirmek için önerilen yöntem için geliştirilen Bulanık Çıkarsama Sistemi kullanılacaktır. Burada amaç aynı ölçütlerle statik durumla dinamik durumun karşılaştırılabilmesine imkân sağlamaktır.

#### 4.4.2 Önerilen yöntem

Önerilen yöntemin geliştirme aşamaları bir önceki bölümde anlatılmıştır. Yöntemin uygulanacağı üretim sisteminin benzetim modeli, sistem durum değişkenleri de dikkate alan yapay sinir ağları modelleri ve bulanık çıkarsama sistemi modeli geliştirildikten sonra uygulama aşamasına geçilmektedir. Yapay sinir ağları modelleri geliştirilirken sistem durum değişkenlerinin farklı değerlerine deney düzenleme aşamasında ihtiyaç duyulduğu için, periyot boyunca rastgele zamanlar türetilerek bu zamanlara ait performans değerleri benzetim modelinden alınmaktadır. Elde edilen bu değerler yapay sinir ağları modellerinin eğitime aşamasında kullanılmaktadır.

Dinamik yaklaşımın en büyük özelliği, analiz periyodu boyunca belli periyotlarda sistemin gözlenerek sistem performans değerlerinin elde edilmesi ve bu değerler kullanılarak yapay sinir ağları modellerinden her alternatif için tahminler alınmasıdır.



Şekil 6: Bulanık çıkarsama sistemi.



Elde edilen değerler bulanık çıkarsama modeline verilerek her alternatif için üç performans değerini ve karar vericinin önceliklerini dikkate alarak "0-1" arasında bir öncelik değeri hesaplanmaktadır. En yüksek öncelik değerine sahip alternatif bundan sonraki periyot boyunca uygulanacak olan alternatif olarak belirlenmekte ve üretimde kullanılan kanban sayıları değiştirilmektedir.

Bu yaklaşımda ilk önce yapılan çalışma uygun periyot belirleme çalışmasıdır. Bunun için 20 adet farklı periyot uzunluğu seçilmiş ve her bir periyot dönemi kullanılarak önerilen yöntemin uygulanması denenmiştir. Elde edilen sonuçlar analiz edilmiştir. En iyi sonucu üreten 3 periyot uzunluğu karşılaştırmalar için seçilmiştir. Bu periyot uzunlukları 3 gün, 1 hafta ve 2 hafta olarak belirlenmiştir.

#### 4.4.3 Karşılaştırma

Uygulama periyodunun uzunluğu 75 gün olarak seçilmiştir. Statik yaklaşım için seçilen kanban kombinasyonu dinamik yaklaşımının başlangıç seçimi olarak belirlenmiştir. Seçilen kanban kombinasyonu Tablo 9'da verilmiştir. Önerilen yöntemin uygulanması ile oluşan kanban kombinasyonları farklı değiştirme periyotları için sırasıyla Tablo 10, Tablo 11 ve Tablo 12'de verilmiştir.

Uygulanan yöntemin statik yaklaşım ile karşılaştırılması yapılmıştır. "Ortalama Müşteri Bekleme Zamanı" performans ölçütü ile elde edilen sonuçlar Şekil 7'de verilmiştir. Şekil 7'de görüldüğü gibi tüm periyotlarda statik yaklaşımdan elde edilen sonuçlar önerilen yöntemden elde edilen performans değerlerine göre daha yüksek olmuştur.

Tablo 9: Statik kanban sonuçları.

Gün	WK1	WK2	WK3	WK4	WK5	PK1	PK2	PK3	PK4	PK5	GS	GIY	KS	FIS
3	4	1	1	1	1	1	1	1	1	2	32.37	0.70	14	0.5270
6	4	1	1	1	1	1	1	1	1	2	35.69	0.72	14	0.4743
9	4	1	1	1	1	1	1	1	1	2	43.95	0.75	14	0.3552
12	4	1	1	1	1	1	1	1	1	2	28.35	0.73	14	0.5540
15	4	1	1	1	1	1	1	1	1	2	39.41	0.75	14	0.3685
18	4	1	1	1	1	1	1	1	1	2	46.09	0.76	14	0.3352
21	4	1	1	1	1	1	1	1	1	2	47.55	0.76	14	0.3370
24	4	1	1	1	1	1	1	1	1	2	51.00	0.75	14	0.3515
27	4	1	1	1	1	1	1	1	1	2	52.34	0.74	14	0.3615
30	4	1	1	1	1	1	1	1	1	2	59.28	0.76	14	0.3379
33	4	1	1	1	1	1	1	1	1	2	70.08	0.78	14	0.3076
36	4	1	1	1	1	1	1	1	1	2	83.32	0.78	14	0.2016
39	4	1	1	1	1	1	1	1	1	2	97.13	0.81	14	0.1978
42	4	1	1	1	1	1	1	1	1	2	105.15	0.82	14	0.1978
45	4	1	1	1	1	1	1	1	1	2	108.37	0.83	14	0.1978
48	4	1	1	1	1	1	1	1	1	2	111.356	0.83	14	0.1978
51	4	1	1	1	1	1	1	1	1	2	117.69	0.84	14	0.1978
54	4	1	1	1	1	1	1	1	1	2	119.87	0.85	14	0.1978
57	4	1	1	1	1	1	1	1	1	2	118.59	0.85	14	0.1978
60	4	1	1	1	1	1	1	1	1	2	117.22	0.85	14	0.1978
63	4	1	1	1	1	1	1	1	1	2	118.03	0.86	14	0.1978
66	4	1	1	1	1	1	1	1	1	2	121.56	0.86	14	0.1978
69	4	1	1	1	1	1	1	1	1	2	123.86	0.86	14	0.1978
72	4	1	1	1	1	1	1	1	1	2	124.83	0.86	14	0.1978

Tablo 10: Dinamik kanban sonuçları-kontrol periyodu 3 gün.

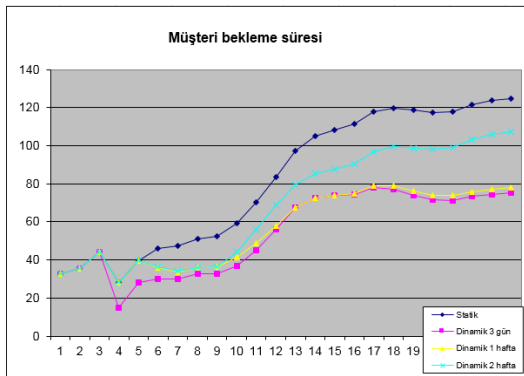
Gün	WK1	WK2	WK3	WK4	WK5	PK1	PK2	PK3	PK4	PK5	GS	GIY	KS	FIS
3	4	1	1	1	1	1	1	1	1	2	32.66	0.70	14	0.5270
6	4	1	1	1	1	1	1	1	1	2	35.68	0.71	14	0.4743
9	4	1	1	1	1	1	1	1	1	2	43.95	0.75	14	0.3552
12	1	1	1	1	1	1	1	1	2	4	15.09	0.41	14	0.8251
15	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	28.24	0.58	11	0.6596
18	1	1	1	1	1	1	2	1	1	4	29.84	0.54	14	0.6574
21	1	1	1	1	1	1	1	1	2	4	29.97	0.49	14	0.6558
24	1	1	2	2	1	1	1	1	1	2	32.88	0.48	13	0.5893
27	1	1	1	1	1	1	4	1	2	1	32.84	0.46	14	0.6176
30	1	1	1	1	2	1	1	4	1	1	36.67	0.48	14	0.5664
33	1	1	4	1	1	3	1	1	1	1	45.15	0.51	15	0.5000
36	1	1	4	1	1	4	1	1	1	2	55.87	0.54	17	0.5000
39	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	67.59	0.58	11	0.5000
42	1	1	2	1	1	3	1	1	1	4	72.74	0.58	16	0.4796
45	1	4	4	1	3	1	1	1	1	1	73.79	0.59	18	0.4715
48	1	1	4	1	1	3	2	1	1	3	74.34	0.58	18	0.4673
51	1	3	4	1	2	3	1	1	1	1	77.80	0.59	18	0.4382
54	1	2	4	1	4	1	1	1	1	1	76.88	0.59	17	0.4461
57	1	2	4	3	1	3	1	1	1	1	74.11	0.59	18	0.4691
60	1	1	4	1	1	3	1	1	1	4	71.65	0.58	18	0.4879
63	1	3	3	1	3	2	1	1	1	2	71.19	0.57	18	0.4913
66	1	2	4	1	1	3	1	1	2	1	73.31	0.57	17	0.4751
69	1	1	4	1	2	2	1	1	1	1	74.31	0.57	15	0.4676
72	1	1	4	1	2	2	1	1	1	1	75.27	0.56	15	0.4599

Tablo 11: Dinamik kanban sonuçları-kontrol periyodu 1 hafta.

Gün	WK1	WK2	WK3	WK4	WK5	PK1	PK2	PK3	PK4	PK5	GS	GIY	KS	FIS
3	4	1	1	1	1	1	1	1	1	2	32.65	0.70	14	0.5270
6	4	1	1	1	1	1	1	1	1	2	35.68	0.71	14	0.4743
9	4	1	1	1	1	1	1	1	1	2	43.95	0.75	14	0.3552
12	4	1	1	1	1	1	1	1	1	2	28.35	0.73	14	0.5540
15	3	1	1	1	1	1	4	2	4	1	39.40	0.75	19	0.3536
18	3	1	1	1	1	1	4	2	4	1	35.96	0.69	19	0.4545
21	1	1	1	1	1	1	2	1	4	1	33.52	0.66	14	0.5409
24	1	1	1	1	1	1	2	1	4	1	35.77	0.65	14	0.5218
27	1	1	1	1	1	1	4	1	3	1	36.37	0.64	15	0.5170
30	3	1	4	4	1	1	1	1	1	2	41.60	0.66	19	0.4434
33	3	1	4	4	1	1	1	1	1	2	48.61	0.67	19	0.4395
36	1	1	3	4	1	1	3	2	1	1	57.89	0.69	18	0.4197
39	1	1	3	4	1	1	3	2	1	1	67.63	0.70	18	0.4058
42	1	1	4	4	1	1	4	1	1	1	72.60	0.71	19	0.3882
45	4	1	1	4	1	1	1	1	1	4	73.93	0.72	19	0.3767
48	4	1	1	4	1	1	1	1	1	4	74.93	0.71	19	0.3816
51	2	1	4	4	1	1	2	1	1	1	79.06	0.70	18	0.3609
54	2	1	4	4	1	1	2	1	1	1	78.83	0.71	18	0.3598
57	2	1	4	4	1	1	2	1	1	2	76.4	0.69	19	0.3828
60	2	1	4	4	1	1	2	1	1	2	74.09	0.68	19	0.4040
63	2	1	1	4	1	1	3	1	1	4	73.70	0.67	19	0.4147
66	1	1	4	4	1	1	2	1	1	2	75.94	0.67	18	0.4070
69	1	1	4	4	1	1	2	1	1	2	76.88	0.66	18	0.4008
72	1	1	4	4	1	1	2	1	1	2	77.84	0.67	18	0.3936

Tablo 12: Dinamik kanban sonuçları-kontrol periyodu 2 hafta.

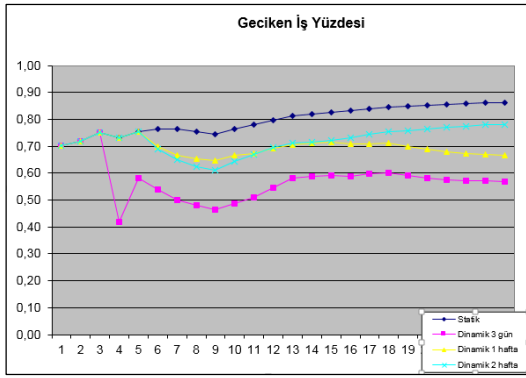
Gün	WK1	WK2	WK3	WK4	WK5	PK1	PK2	PK3	PK4	PK5	GS	GIY	KS	FIS
3	4	1	1	1	1	1	1	1	1	2	32.65	0.70	14	0.5270
6	4	1	1	1	1	1	1	1	1	2	35.68	0.71	14	0.4743
9	4	1	1	1	1	1	1	1	1	2	43.95	0.75	14	0.3552
12	4	1	1	1	1	1	1	1	1	2	28.35	0.73	14	0.5540
15	1	4	1	1	2	1	1	3	4	1	39.40	0.75	19	0.3536
18	1	4	1	1	2	1	1	3	4	1	36.50	0.69	19	0.4573
21	1	4	1	1	2	1	1	3	4	1	34.18	0.64	19	0.5006
24	1	4	1	1	2	1	1	3	4	1	35.77	0.62	19	0.4886
27	2	4	1	1	1	1	1	1	1	2	36.49	0.61	15	0.5443
30	2	4	1	1	1	1	1	1	1	2	44.25	0.64	15	0.4637
33	2	4	1	1	1	1	1	1	1	2	55.86	0.66	15	0.4423
36	1	4	1	1	4	1	1	3	1	1	68.63	0.69	18	0.4168
39	1	4	1	1	4	1	1	3	1	1	79.51	0.71	18	0.3563
42	1	4	1	1	4	1	1	3	1	1	85.39	0.71	18	0.2782
45	1	4	1	1	4	1	1	3	1	1	87.40	0.72	18	0.2422
48	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	90.17	0.73	10	0.2500
51	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	96.77	0.74	10	0.2500
54	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	99.54	0.75	10	0.2500
57	1	3	1	1	2	1	1	1	1	1	98.80	0.76	13	0.2500
60	1	3	1	1	2	1	1	1	1	1	97.95	0.76	13	0.2500
63	1	3	1	1	2	1	1	1	1	1	99.23	0.76	13	0.2500
66	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	103.18	0.77	10	0.2500
69	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	106.10	0.77	10	0.2500
72	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	107.28	0.78	10	0.2500



Şekil 7: Ortalama müşteri bekleme zamanı karşılaştırma.

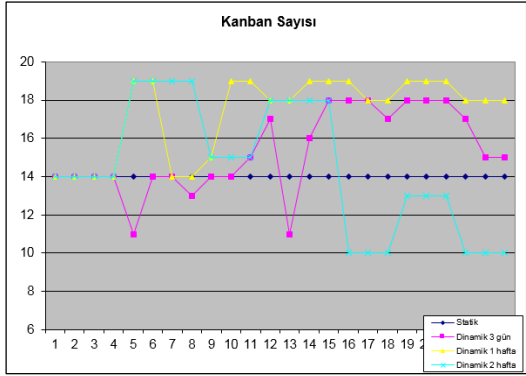
Bu performans ölçütünün en küçüklenmesi istenen ana amaçlardandır. Değişirme periyodunun 2 haftalık alındığı dinamik yaklaşım ikinci en yüksek sonucu üretmiştir. Elde edilen sonuçlar analiz edildiğinde değişirme periyodunun "3 gün" ve "1 hafta" alındığı yaklaşım bu performans ölçütü açısından birbirine en yakın ve en düşük değerdeki sonuçları üretmiştir. Bu yaklaşımlarda bekleme zamanı maksimum 80 dakika civarına çıkmasına rağmen statik yaklaşımda bu değer 125 dakika civarına çıktığı görülmektedir. Ortalama olarak da önerilen yöntem 50 dakika civarında sonuçlar üretirken statik yaklaşımı 100 dakika civarında sonuçlar üretmektedir. Bu sonuçlar önerilen yöntemin doğru bir periyot seçimi ile klasik yaklaşım olan statik yaklaşıma göre müşteri bekleme zamanını yarı yarıya indirdiğini göstermektedir.

Geciken iş yüzdesi performans ölçütü açısından elde edilen sonuçlar Şekil 8'de verilmiştir. Şekil 8'de görüldüğü gibi GİY performans ölçütü dikkate alındığında tüm periyotlarda, statik yaklaşımdan elde edilen sonuçların önerilen yöntemle göre daha kötü sonuçlar üretmektedir. Bu performans ölçütünün en küçüklenmesi, istenen diğer bir ana amaçtır. Değişirme periyodunun "1 hafta" ve "2 hafta" olarak alındığı dinamik yaklaşımların birbirine yakın ve statik yaklaşımdan daha iyi sonuçlar ürettiği görülmüştür. Yapılan analizlerde en iyi sonucu değişirme periyodunu "3 gün" olarak alınan önerilen dinamik yöntem üretmiştir. Bu yaklaşımla, GİY'in ortalama olarak %56.6 civarında olduğu ve bu oranın maksimum %60'a kadar çıktığı görülmektedir. Statik yaklaşımda ise ortalama GİY %79.8 civarında gerçekleşirken, bu ölçütün maksimum seviyesi %88'e kadar çıkmaktadır. Sonuç olarak önerilen yöntem bu performans ölçütü açısından statik yaklaşıma göre %30 oranında daha iyi sonuç vermektedir.



Şekil 8: Geciken iş yüzdesi karşılaştırma.

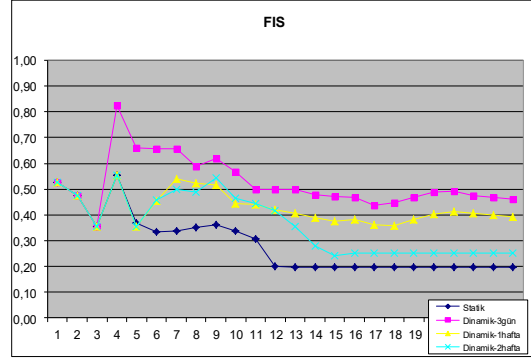
Kullanılan "Toplam Kanban Sayısı" açısından elde edilen sonuçlar Şekil 9'da verilmiştir.



Şekil 9: Kanban sayıları karşılaştırma.

Şekil 9'da görüldüğü gibi analiz edilen tüm yaklaşımlarda kullanılan toplam kanban sayıları periyottan periyota değişmektedir. Statik yaklaşımda tüm analiz periyodu boyunca kullanılan kanban sayısı toplam 14 adettir. Dinamik yaklaşımda kullanılan toplam kanban sayısı minimum 10 ile maksimum 19 arasında değişkenlik göstermektedir. Bu tür sistemlerde hedeflenen performans ölçütlerinin en az kanban sayısı ile gerçekleşmesi istenmektedir. Bunun nedeni sistemin ortalama ara stok seviyesinin kanban sayısından etkilenmesidir. Statik yaklaşımda kullanılan kanban sayısı daha düşük olarak gerçekleşse de, dinamik yaklaşımda, bazı dönemlerde daha az sayıda kanban kullanılmakta bazı dönemlerde ise diğer performansları iyileştirmek için kanban sayısı daha yüksek miktarlara çıkmaktadır.

Literatürde yapılan çalışmaların büyük bir bölümünde uygun kanban sayıları belirlenirken ya tek bir performans ölçütü kullanılmış ya da maliyet fonksiyonları ile birden fazla performans ölçütünün aynı anda değerlendirilmesi gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada ise birden fazla performans ölçütünün aynı anda değerlendirilmesi bulanık çıkarsama sistemi ile gerçekleştirilmiştir. Elde edilen öncelik değerleri Şekil 10'da verilmiştir.



Şekil 10: Bütünleşik öncelik değerleri karşılaştırma.

Şekil 10'da görüldüğü üzere statik yaklaşımdan elde edilen sonuçlarda öncelik değerleri ortalama 0.25 düzeyinde gerçekleşirken, dinamik yaklaşımlardan elde edilen sonuçlar daha yüksek öncelik değeri üretmektedir. Özellikle deneme periyodunun 3 gün olarak alındığı yaklaşım ile en yüksek öncelik değeri elde edilmiştir. Bazı dönemlerde öncelik seviyesi 0.80 düzeyine çıkarken en düşük 0.48 düzeyinde gerçekleşmiştir. Ortalama öncelik değeri ise 0.58 seviyesinde gerçekleşmiştir. Bu sonuçlar, önerilen yöntemin statik yaklaşıma göre daha etkin ve daha iyi sonuçlar ürettiğini göstermektedir.

## 5 Özet ve gelecek çalışmalar

Bu çalışma kapsamında günümüzün değişkenliği yüksek üretim sistemlerinin tam zamanlı üretim sistemine uygun olarak yönetilmesi için bir dinamik kanban sayılarını belirleme yöntemi geliştirilmiştir. Bu yöntem, karmaşık yapıda, dinamik üretim ortamlarında kanban sayılarının belirlenebilmesi için bir alternatif yaklaşım oluşturacaktır.

Önerilen yaklaşım benzetim, yapay sinir ağları ve bulanık çıkarsama sistemi yöntemlerini bütünleştirerek hem uygulanması kolay hem de etkin bir yaklaşım oluşturmaktadır. Benzetim yaklaşımı karmaşık yapıdaki üretim sistemlerini modellemek, yapay sinir ağları modellerini eğitmek ve test etmek için gerekli olan verileri elde etmek ve önerilen yöntemin etkinliğini göstermek için kullanılmıştır. Yapay sinir ağları modelleri ise karar verme noktalarında olabilecek tüm alternatiflere ait performans ölçütlerinin sistemin o anki durum değişkenlerine göre tahminlenmesi amacıyla kullanılmıştır. Bulanık çıkarsama sistemleri ise birden fazla performans ölçütünün aynı anda değerlendirilmesi için kullanılmıştır.

Önerilen yöntemin etkinliğini göstermek için genel yapıda bir üretim sisteminin benzetim modeli oluşturulmuş ve önerilen yöntemin etkinliği ölçülmüştür. Yapılan tüm analizler sonucunda önerilen yöntemin statik yaklaşıma göre daha etkin ve iyi sonuçlar ürettiği görülmüştür.

Bu çalışma kapsamında mevcut kanban sayılarının önceden belirlenen periyodik zamanlarda yenilenmesi yaklaşımı

benimsenmiştir. Bundan sonraki çalışmalarda, bu yaklaşım yerine, sistem performans değerlerinin sürekli izlenerek, karar vericinin önceden belirlediği koşullara ulaşıldığında sistem parametrelerin yenilenmesi esasına dayanan proaktif yöntemler incelenecektir.

## 6 Teşekkür

Bu çalışma Celal Bayar Üniversitesi bilimsel araştırmaları destekleme fonu tarafından 2010-063 no.lu proje ile desteklenmiştir. Makalemizin değerlendirme sürecindeki katkılarından dolayı hakemlere teşekkür ederiz.

## 7 Kaynaklar

- [1] Graves RJ, Konopka JM, Milne RJ. "Literature review of material flow control mechanisms". *Production Planning & Control*, 6(5), 395-403, 1995.
- [2] Gupta SM, Al-Turki YAY. "An algorithm to dynamically adjust the number of kanbans in stochastic processing times and variable demand environment". *Production Planning & Control*, 8(2), 133-141, 1997.
- [3] Belisario RS, Pierreval H. "Using genetic programming and simulation to learn how to dynamically adapt the number of cards in reactive pull systems". *Expert Systems with Applications*, 42(6), 3129-3141, 2015.
- [4] Araz OU, Eski O, Araz C. "Determining the parameters of dual-card kanban system: an integrated multicriteria and artificial neural network methodology". *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 38(9), 965-977, 2008.
- [5] Guneri AF, Kuzu A, Taskin Gumus A. "Flexible kanbans to enhance volume flexibility in a JIT environment: A simulation based comparison via ANNs". *International Journal of Production Research*, 47(24), 6807-6819, 2009.
- [6] Akturk MS, Erhun F. "An overview of design and operational issues of kanban systems". *International Journal of Production Research*, 37(17), 3859-3881, 1999.
- [7] Gupta YP, Gupta MC. "A system dynamics model for a multi-stage, multi-line dual-card JIT-Kanban system". *International Journal of Production Research*, 27(2), 309-352, 1989.
- [8] Karmarkar US, Kekre S. "Batching Policy in Kanban Systems". *Journal of Manufacturing Systems*, 8(4), 317-328, 1989.
- [9] Philipoo PR, Ree LP, Taylo BW. "Simultaneously determining the number of kanbans, container sizes, and the final-assembly sequence of products in a just-in-time shop". *International Journal of Production Research*, 34(1), 51-69, 1996.
- [10] Moeeni F, Sanchez SM, Vakha Ria AJ. "A robust design methodology for Kanban system design". *International Journal of Production Research*, 35(10), 2821-2838, 1997.
- [11] Kochel P, Nielander U. "Kanban optimization by simulation and evolution". *Production Planning Control*, 13(8), 725-734, 2002.
- [12] Shahabudeen P, Krishnaiah K, Thulasi Narayanan M. "Design of a two-card dynamic kanban system using a simulated annealing algorithm". *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 21(10), 754-759, 2003.
- [13] Hou TH, Hu WC. "An integrated MOGA approach to determine the pareto-optimal kanban number and size for a JIT system". *Expert Systems with Applications*, 38(5), 5912-5918, 2011.
- [14] Lee I. "Evaluating artificial intelligence heuristics for a flexible kanban system: Simultaneous kanban controlling and scheduling". *International Journal of Production Research*, 45(13), 2859-2873, 2007.
- [15] Huang CC, Kusiak A. "Overview of kanban systems". *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 9(3), 169-189, 1996.
- [16] Kumar CS, Panneerselvam R. "Literature review on JIT-Kanban system". *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 32(3), 393-408, 2007.
- [17] Junior ML, Filho MG. "Variations of the kanban system: Literature review and classification". *International Journal of Production Economics*, 125(1), 13-21, 2010.
- [18] Aytug H, Dogan CA, Bezmez G. "Determining the number of kanbans: A simulation metamodeling approach". *Simulation*, 67(1), 23-32, 1996.
- [19] Hurriion RD. "An example of simulation optimization using a neural network metamodel: Finding the optimum number of kanbans in manufacturing system". *Journal of Operations Research Society*, 48(11), 1105-1112, 1997.
- [20] Gonzalez RPL, Framinan JM, Pierreval H. "Token-Based pull production control systems: An introductory overview". *Journal of Intelligent Manufacturing*, 23(1), 5-22, 2012.
- [21] Tardif V, Maaseidvaag L. "An adaptive approach to controlling kanban systems". *European Journal of Operational Research*, 132(2), 411-424, 2001.
- [22] Marand LLP, Sakata Y, Hirotani D, Morikawa K, Takahashi K. *An Adaptive Kanban and Production Capacity Control Mechanism*. Editors: Emmanouilidis C, Taisch M, Kiritsis D. Advances in Production Management Systems. Competitive Manufacturing for Innovative Products and Services, 452-459, Berlin, Germany, Springer, 2013.
- [23] Takahashi K, Myreshka, Hirotani D. "Comparing CONWIP, synchronized CONWIP, and kanban in complex supply chains". *International Journal of Production Economics*, 93-94, 25-40, 2005.
- [24] Shahabudeen P, Sivakumar GD. "Algorithm for the design of single-stage adaptive kanban system". *Computers & Industrial Engineering*, 54(4), 800-820, 2008
- [25] Araz OU, Salum L. "A multi-criteria adaptive control scheme based on neural networks and fuzzy inference for DRC manufacturing systems". *International Journal of Production Research*, 48(1), 251-270, 2010.
- [26] Zadeh LA. "Fuzzy sets". *Information and Control*, 8, 338-353, 1965.
- [27] Mamdani EH. "Application of fuzzy algorithms for control of simple dynamic plant". *Proceedings of the Institution of Electrical Engineers*, 121(12), 1585-1588, 1974.
- [28] Welch PD. *The statistical Analysis of Simulation Results*. Editor: Lavenberg SS. The Computer Performance Modeling Handbook, 268-328, New York, USA, Academic Press, 1983.