



2016.04.01.OR.05

## ENERGY SAVING IN CONTINUOUS ANNEALING LINE USING HEATING OPTIMIZATION

Ömer Faruk SEZER \*

Faculty of Management, Sakarya University, Sakarya, Turkey

Erman COŞKUN †

Prof. Dr., Faculty of Management, Sakarya University, Sakarya, Turkey

Received: 17 February 2016

Accepted: 29 June 2016

### Abstract

Energy consumption of Iron and Steel Industry sector in Turkey has the highest share in final energy consumption. In the globalized world, day by day, worsening of the conditions of competition and negative environmental pressures, more efficient energy usage is come to the forefront. Growing industries can survive by providing efficient energy consumption and effective energy follow-up. The failure of businesses is become inevitable with ineffective and inefficient usage of energy resources used in the production. Energy savings in the continuous annealing line which is the subject of this article is an important issue and it is based on many parameters. Measuring strip's temperature is so important to continuous annealing line control in the annealing automation system. Increasing or decreasing the oven temperature provides the process control with the adjustment of the heater which is specific heating capacity in these furnaces. Each strip annealing temperature is different which depends on the strip quality. Also strip thickness, strip width and the line speed are the other factors of the oven temperature conditions. It needs to realize the production of an optimal quality ranking to increase the line speed. This improves the production level and because of the oven temperature changes in the order that causes the reduction of costs due to energy savings, optimized production is achieved. Finding the most suitable production sequence is modeled by fuzzy goal programming functions used the above parameters were investigated.

*Keywords: Continuous Annealing Line, Energy Saving, Goal Programming*

## SÜREKLİ TAVLAMA HATLARI ISITMA OPTİMİZASYONU İLE ENERJİ TASARRUFU SAĞLANMASI

### Özet

Demir ve Çelik Sanayi enerji tüketimi ülkemizde nihai enerji tüketimlerinde en yüksek paya sahiptir. Küreselleşen dünyada rekabet koşullarının ve çevre koşullarına uyum şartlarının gün geçtikçe daha da ağırlaşması enerjinin etkin kullanımını ön plana çıkarmaktadır. Gelişen sanayiler enerjiyi etkin takip ederek ve enerji tüketimini verimli kullanarak ayakta kalabileceklerdir. Enerji kaynaklarını üretimde etkin ve verimli kullanmayan işletmelerin başarısızlığa uğraması kaçınılmazdır. Bu tezin konusu olan sürekli tavlama hatlarındaki enerji tasarrufu önemli bir konudur ve birçok parametreye bağlıdır. Tavlama otomasyon sisteminde şerit sıcaklığının ölçülmesi sürekli tavlama hat kontrolünde oldukça önemlidir. Belirli ısıtma kapasitesine sahip ısıtıcıların değerlerinin artırılıp azaltılması ile fırın içi sıcaklarının dolayısıyla şerit sıcaklıklarının kontrolü sağlanır. Her bir şerit tavlama sıcaklığı şerit kalitesine bağlı olarak farklıdır. Ayrıca fırın sıcaklık değeri şerit boyutlarına ve hat hızına da bağlı olarak değişir. Hat hızını arttırmak için en uygun kalite sırasında üretimi gerçekleştirmek gerekir. Üretim seviyesinin artırılması ve sıcaklık değişimlerinin en uygun olduğu sırada ürünlerin üretilmesi enerji tasarrufu oluşturmaktadır; bu da maliyetlerin azalmasına neden olur. Yukarıdaki parametrelerin modellendiği bulanık mantık hedef programlama fonksiyonları ile en uygun üretim sıralamasının bulunması araştırılmıştır.

*Anahtar Kelimeler: Sürekli Tavlama Hattı, Enerji Tasarrufu, Bulanık Hedef Programlama*

\* omer.sezer@ogr.sakarya.edu.tr

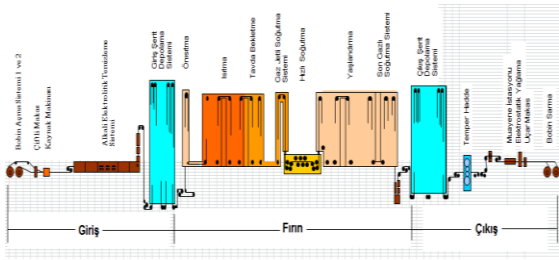
† ermanc@sakarya.edu.tr (Corresponding author)

## 1. GİRİŞ

Mühendislikte sıcak yahut soğuk haldeki metal malzemeye basit biçimler vermekte kullanılan işleme haddeleme işlemi denir (Sert,2105). Özellikle çeliğin haddelenmesi, sadece biçim vermek değil, aynı zamanda çeliğin mekanik özelliklerinin geliştirilmesini de sağlar. Haddeleme işleminde metal, aynı hızda fakat birbirine ters yönde dönen ve aralarındaki mesafe malzemenin kalınlığından biraz az olan iki merdane hadde arasından geçirilir. Merdaneler ekseriya yüksek kaliteli çelikten yapılmıştır. Haddeden çekme işi, çamaşırları eski çamaşır makinesinin sıkıcısının silindirleri arasından geçirmekten farklı değildir. Çamaşırdaki düşünülen şey suyu sıkıp çıkarmaktır, madenlerde ise sıkıştırıp daha ince bir hale getirmektir (Sert,2105).

Sürekli tavlama hattı, soğuk haddeleme sürecinin en son işlemi olarak, soğuk haddelenen ürünlerin performansını iyileştirmede önemli bir rol alır. Nippon Steel Kimitsu Fabrikası, Ekim 1972 yılında ilk sürekli tavlama hattını kurduktan sonra, yüksek verimlilik, düşük maliyet, yüksek kalite ve çeşitlendirme avantajları sunan bu işlem tüm dünyada uygulanmaya başlamıştır [Şekil-1].

Şekil 1. Sürekli Tavlama Hattı Akışı



Çelik, yüksek basınçta ince bir şerit haline haddelendiği zaman sertleşir ve en son ürünler olan otomobil parçaları, bilgisayar kasaları, yapı elemanları ve benzerleri gibi ürün haline getirilmeye çalışıldığı zaman başarılı olunamaz. Sürekli tavlama hattı fırın bölümünde; sac bünyesinde soğuk haddeleme sırasında oluşan içyapı bozukluğu ve iç gerilme birikiminin yeniden kristalleşme sıcaklığına kadar tavlanyıp giderilmesi amaçlanmaktadır. Saca istenilen fiziksel özellikleri kazandırmak için çeşitli ısıtma ve soğutma işlemleri uygulanır. Bu işlemler, sacın işleme performansını artırır. Alan çalışması yapacağımız işletmede ısıtma ve soğutma işlemlerinin değişimine neden olan 5 çeşit kalite kullanılmaktadır. Bu kaliteler çeşitli mekaniksel özelliklerine bağlı olarak CQ, DQ1, DQ2, DDQ ve EDDQ adlarını alırlar. Bunların karbon, mangan ve kükürt miktarları sırasıyla yüksek değerden düşük değere sıralanırlar. Ayrıca bu değerlere bağlı olarak malzeme akma ve çekme mukavemetleri değişir. Bu değerlere göre de değişik işlerde kullanılırlar. CQ

kalite ticari kalite olup soğuk haddeleme ürünleri için genel bir uygulamadır. Sırasıyla basit uygulamalardan daha karmaşık şekilli ürünlerin üretilmesinde kullanılırlar. EDDQ kalite eşya ve otomotiv sanayiinde çok fazla derin çekme ve son derece karmaşık şekilli parçaların imalatında kullanılır. Bunların tavlama sıcaklıkları ve tavlama kalma süreleri farklı farklıdır. Yine sırasıyla tavlama sıcaklıkları  $720 \pm 30$  dereceden başlayıp en son EDDQ kalite için  $830 \pm 20$  dereceye kadar çıkar ve hıza bağlı olarak tavlama fırınında şeridin belirli sürenin üstünde kalması gerekmektedir. Kalitelere göre sıcaklık ve maruz kalma süre dağılımları Tablo-1'de gösterilmiştir.

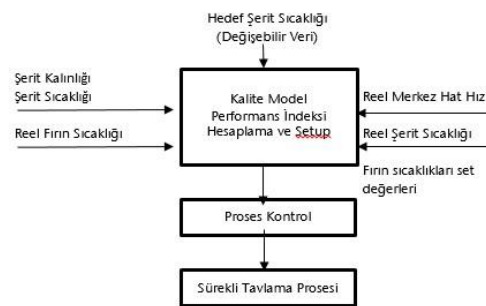
Tablo 1. Kaliteye göre şerit tavlama sıcaklıkları

Ürün Kalitesi	Şerit Sıcaklıkları[°C]	Zaman[saniye]
CQ	$720 \pm 30$	$\geq 40$
DQ-1	$770 \pm 30$	$\geq 40$
DQ-2	$780 \pm 30$	$\geq 40$
DDQ	$800 \pm 30$	$\geq 40$
EDDQ	$850 \pm 30$	$\geq 40$

Fırının içinde şeride olan ısı transferi fırın sıcaklığına, şeridin ebatlarına ve hat hızına doğrudan bağlıdır. Bu nedenlerle malzeme kalite performansını etkileyen faktörler arasında, şerit sıcaklığı, kalınlığı, genişliği, fırın sıcaklığı ve hat hızı anahtar durumdadır [Şek.2]. Sürekli tavlama fırınının sıcaklık kontrol sonucunu geleneksel kontrol yöntemini kullanarak elde etmek zordur. Tavlama işlemi kontrolü zor ve karmaşık bir endüstriyel işlem olup, çok iyi bir performans ile iyi bir ısı kontrol yöntemi büyük önem taşımaktadır (Guo, Zhang, You, Chen ve Zhang (2009)).

Her fırın çıkışında fırını ne kadar doğru kontrol ederseniz, ürün kalitesi o kadar etkilenir (Ming, Datai, Jiangang (2008)).

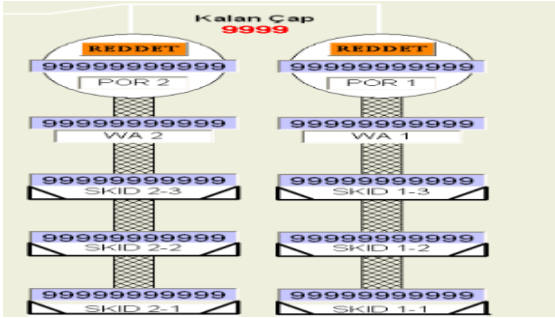
Şekil 2. Fırın Optimizasyon Yapısı



Bunun yanı sıra günümüzde rakiplerle yarışabilmek için yukarıda sözü edilen kalite koşullarının yerine getirilmesinin yanında en ucuz maliyet ile bu işlemin yapılması gerekmektedir.

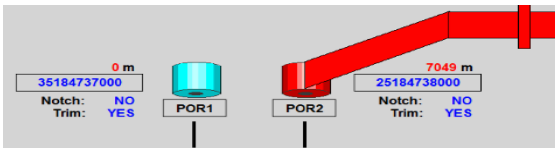
Bu çalışmada hatta girecek olan şerit için en uygun tavlama sıcaklığının bulunması amaçlanmıştır. Şekil-3'de tavlama hatlarında kullanılan hatta girecek olan bobinlerin istiflendiği konveyör görülmektedir.

Şekil 3. Sürekli Tavlama Hattı Giriş Konveyörü



Şekil 4.'de ise bobinin hatta verilış tarzı gösterilmektedir. Her hatta 2. Mandrel'de bobin var ise 1. Mandrel'deki bobin 2. Mandrel'deki bobinin arkasına kaynak yapılması için bekletilmektedir. Tam tersi de geçerlidir.

Şekil 4. Sürekli Tavlama Hattı Mandrel Görünüşü



Bu çalışmada Şekil 3.'de görülen her bobin için en uygun tavlama sıcaklıklarının bulunması amaçlanmıştır. Bu bir dinamik yapıdır ve gelen her bobin için tekrar hesaplanmaktadır.

Sürekli tavlama ile ilgili çalışmalar literatür taramasında gösterilmiştir. Bu çalışmalarda genellikle matematiksel model üzerinde durulmuş, kalite geçişleri ile ilgili bir çalışma yapılmamıştır. Bu çalışmada rekabet için önemli olan üretim kapasitesini sipariş kalitelerine bağlı olarak maksimize ve enerji maliyetlerini minimize etmek için hedef programlama fonksiyonları yazılmıştır. Bu çalışmada aynı zamanda hat hızını da maksimum edecek amaç fonksiyonu hedef programlamaya eklenmiştir.

İkinci bölüm literatür taraması, üçüncü bölüm bulanık hedef programlama, bir sonraki bölüm demir çelik fabrikasındaki ısı işlem bölümünün tanıtımı, kapasitesi ve işlem fonksiyonları hakkında bilgi verilecektir. Sonraki bölümde elde edilen sonuçların yorumlanması ve sonuç bölümü yer almıştır.

## 2. LİTERATÜR TARAMASI

Sürekli Tavlama Hattı için aşağıdaki çalışmalar incelenmiştir. Ayan, Singh, Prasad, Chowdhuri (2012), yaptığı çalışmada yapay sinir ağı ve klasik matematiksel

modeli birleştirerek sistemin daha etkili kontrolü için matematiksel modelde iyileştirmeler yapmıştır. Carvalho, Ong ve Guimaraes (2006), tavlama sürecini kontrol etmek için matematiksel modeli geliştirmişlerdir. Ming, Daiti, Jiangang (2008), kullanılmayan kontrol model yerine yeni şerit kontrol modelini yapay zekâ metodlarını kullanarak geliştirmişlerdir. Christopher, Watanapong-se and Gaskey (1988), lineer kaudratik Gauss kontrol tekniklerini kullanarak araba sacı üretmek için kontrol tekniğini geliştirmişlerdir. Wang, Li, Hua ve Liu (2010), tavlama fırını için yeni süreç kontrol ve kendi-kendini uyarlama (self-adapting) modeli geliştirmişlerdir. Zhang, Shuai ve Tenga (2012), özyinelemeli Kernel temel bileşen analizi (Recursive Kernel principal component analysis - RKPCA) metodunu kullanarak güvenilir çalışma ortamı oluşturmak için süreci izleme, arızaları tespit etme ve giderme amacıyla çalışmalar yapmışlardır. Ghasem, Mahmoud, Vaghefi ve Lotfiani (2005), radyan tüplerin ömürlerini uzatmak için çalışmışlar. Shaoyuan, Chena ve Huang (2006), GGAP-RBF sinir ağını kullanarak kalite kontrolün dinamik modellemesi üzere çalışmışlardır. Yanagishima, Shimoyama, Suzuki, Sunami, Haga, Ida ve Irie (1981), Chiba Çelik Fabrikasında Sürekli Tavlama Hattı'nın karakteristiklerini ve operasyonunu anlatmışlardır. Yoshitani ve Hasegawa (1998), vektör tipi değişken unutma faktörü ile özyinelemeli parametre kestirimi (recursive parameter estimation with a vector-type variable forgetting factor (REVVF)) metodunu kullanarak kendi kendini ayarlayabilen bir model geliştirmişlerdir. Fei, Yong-qin ve Shuren (2012), ısı transfer katsayılarını kendi kendine ayarlayabilen bir metod geliştirmişlerdir. Marlow (1996), kalite geçişleri sırasında tavlama fırını için matematiksel bir model tanımlamaktadır. Arumugam, Chandramohan ve Murthy (2011), yapay zekâ algoritmaları kullanarak birden fazla tavlama fırını olan işletmelerde fırın kullanım optimizasyonu için yeni model oluşturmuştur. Choa, Cassandras ve Kwon (2004), ileri ayrıştırma algoritması (forward decomposition algorithm) kullanarak birden fazla tavlama fırını olan işletmelerde fırın kullanım optimizasyonu için yeni model oluşturmuştur. Guo, Zhang, You, Chen ve Zhang (2009), parçacık sürü optimizasyonu algoritmaları (Particle swarm optimization) kullanarak fırın kontrol modeli geliştirmişlerdir. Bu modelde en uygun ısıtmak için gerekli gaz akışını PSO kullanarak optimize etmek istemişlerdir. Jeong, Yi, Kim ve Ha (1991), her zon için gaz sıcaklığını ölçerek kontrol metodu geliştirmişlerdir.

Hedef Programlama yaklaşımının birçok alan için pratik ve uygun olduğu yapılan çalışmalar ile anlaşılmaktadır. Chen, Chen ve Huang (2009) firma yöneticilerinin rekabet edebilirliğini arttırmak için büyük önem gösterdiği esnek üretim hücreleri için donanım alımı üzerine Tiwari'nin "Ağırlıklandırılmış Toplamsal Yaklaşımı" (Weighted Additive Approach) kullanarak

toplam makina sayısı, toplam makinelerin kapladığı alan, toplam satın alma maliyeti ve bu parti makinanın üretim miktarı arasındaki ilişkileri hesaplayan bir model geliştirmişlerdir. Selim, Araz ve Özkarahan (2008) tedarik zinciri sistemlerinde ortak üretim-dağıtım planlaması sorunu üzerinde yine Tiwari'nin "Ağırlıklandırılmış Toplamsal Yaklaşımı" (Weighted Additive Approach) yöntemini kullanarak uğraşmışlardır. Ertuğrul ve Güneş (2008) firmanın satış ve kar hedefleri için Narasihma yaklaşımını kullanan model geliştirerek bu sorunu çözmeye çalışmışlardır. Mékidiche, Mouslim and Sahed (2013) ana üretim planlaması için Hannan yaklaşımına yeni bir yaklaşım getirerek problem çözmeye çalışmışlardır. Güneş ve Umarosman (2005) bulanık hedef programlamayı kullanarak yeni bir yaklaşımla bulanık aritmetik ortalama üzerinde çalışmışlardır. Ertuğrul (2005) bir tekstil firmasının hazır giyim fabrikası ve ev tekstili grubuna önce doğrusal programlama sonra da hazır giyim fabrikasında satış ve kar hedefleri, ev tekstili grubunda ise satış hedefleri ile bulanık hedef programlama modeli uygulanarak iki modeli kıyaslamıştır. Erdin (2008) içme suyu üretimi için korunan doğal bir havzanın toprak örtüsüne müdahale edilmesi durumunda su kalitesi parametrelerindeki değişikliklerin, bulanık hedef programlama tekniklerinden "üçgensel üyelik fonksiyonlarıyla Chen yaklaşımı" kullanılarak değerlendirmesini yapmıştır. Liang (2006) tedarik zincirindeki üretim/nakliye planlama kararları için Zimmermann yaklaşımını kullanarak çözmeye çalışmıştır. Güneş ve Umarosman (2007) Yang, Ignizio ve Kim yaklaşımını kullanarak, yerel yönetimdeki vergi uygulama problemi üzerinde çalışmalar yapmışlardır. Karaman ve Kale (2007) bir inşaat projesinin kalitesi, süresi ve maliyeti arasındaki ilişkinin nasıl olduğunu Tiwari Toplamsal Yaklaşımı yöntemini kullanılarak incelemiştir. Kağnıcıoğlu (2006) ana üretim planlaması için bulanık hedef programlama için Tiwari'nin toplamsal model yaklaşımını kullanarak çıkan değerleri hedef programlama ile kıyaslamıştır. Liang ve Cheng (2011) ana üretim planlaması için toplam maliyeti, toplam taşımayı, stok hacmini ve işçi sayısındaki değişimi dikkate alarak ürün çeşidi ve çoklu zaman aralıkları için yeni bir bulanık model geliştirmişlerdir. Özcan ve Toklu (2009) iki taraflı montaj hattı için Tiwari yaklaşımını kullanan ve iki montaj hattı dengelemesini yapan bir model önermişlerdir. Mekidiche ve Belmokaddem (2013) Yaghoobi ve Tamiz (2008)'in ana üretim planı için "Ağırlıklandırılmış Toplamsal Yaklaşım" metodu kullanarak geliştirmiş olduğu modele yeni bir formülasyon getirmişlerdir.

### 3. BULANIK HEDEF PROGRAMLAMA

Hedef programlama bir optimizasyon programıdır. Hedef programlama, çok kriterli karar analizi olarak bilinen çok kriterli karar vermenin bir dalı olan çok amaçlı optimizasyonun bir alt dalı olarak tanımlanmaktadır. Hedef programlama aslında geliştirilmiş bir lineer programlamadır. Tek bir hedef yoktur. Birçok hedef vardır ve bu hedeflerin karar vericinin atadığı önem sırasına göre karşılanması gerekmektedir. Öncelik düzeyi yüksek olan hedeften başlayarak hedef düzeyi düşük olan hedefe doğru hedeften sapmaların minimize edilmesine çalışılır. Başarılı bir hedef programlama karar vericinin ihtiyaçlarını karşılamalıdır. Hedef programlamanın kuvvetli yönü olarak sadeliği ve kullanım kolaylığı olmasına rağmen zayıf yönü olarak Pareto yeterliliğini sağlayamamasını söyleyebiliriz.

Hedef programlama tekniği ilk olarak 1955 yılında Charnes, Cooper ve Ferguson tarafından kullanılmıştır (Charnes, Cooper, Ferguson (1955)). Fakat kullanımından 6 yıl sonra bu tekniğin adından ilk defa 1961 yılında Charnes ve Cooper 'ın makalesinde söz edilmiştir (Charnes ve Cooper (1961)). İlk mühendislik uygulaması ise aya ilk insanı indiren Apollo uzay kapsülünün aya konuşturulması işlemidir.

Bulanık Mantık ise birden fazla çözümü olan problem ve verilerle uğraşan matematiksel bir tekniktir. Burada sonsuz sayıda çözüm vardır. Klasik mantıkta olduğu gibi 0 veya 1 gibi kesin çözümler yoktur. 0 ile 1 arasında değişen sonsuz sayıda çözüm bulunabilmektedir. Bu nedenle insan mantığına en uygun programlama tekniğidir.

Bulanık küme mantığı 1960 yıllarında Kaliforniya Üniversitesinden Lütfi A. Zadeh tarafından geliştirilmiştir. 1987 yılına kadar kullanım alanı bulamamıştır. İlk olarak Matsushita firması çamaşır makinasının yüküne, kumaş karışımına ve deterjan miktarına göre yıkama periyodunu optimize eden bir uygulama yapmıştır. Bundan sonra ticari olarak çok geniş alanlarda uygulanmaya başlamıştır.

Bulanık hedef kümesi evrensel kümenin (seçenekler kümesinin) bir alt kümesi olan  $\tilde{W}$  kümesi ile veya  $\mu_{\tilde{W}}(x)$  üyelik fonksiyonu ile gösterilmiştir. Kısıtlayıcıların parametre değerleri ve/veya sağ taraf sabitleri bulanık olabilir. Bu durumda bulanık bir kısıtlayıcı evrensel kümede yer alan  $\tilde{c}$  bulanık kümesi ile veya  $\mu_{\tilde{c}}(x)$  üyelik fonksiyonu ile ifade edilmiştir. Bulanık karar kümesi ise evrensel kümede yer alan  $\tilde{D}$  bulanık kümesi ile veya  $\mu_{\tilde{D}}(x)$  üyelik fonksiyonu ile ifade edilmiştir[3].

$\tilde{W}$  bulanık kümesi ile belirtilen hedeflere ulaşmak için  $\tilde{c}$  bulanık kümesinin bütün kısıtlarının karşılanması gerekir. Bu durumda ise  $\tilde{W}$  ve  $\tilde{c}$  bulanık kümelerinin kesişimlerini almamız gerekmektedir.

$$\tilde{D} = \tilde{W} \cap \tilde{c}$$

Bu kesişimi bulanık mantık yaklaşımı ile gösterirsek; n adet bulanık hedef ve m adet bulanık kısıtlayıcı olduğunda bulanık karar kümesi aşağıdaki gibi tanımlanır (Zimmermann,1991).

$$\begin{aligned} \mu_{\tilde{D}}(x) &= \text{minimum} [\mu_{\tilde{W}}(x), \mu_{\tilde{c}}(x)]; \\ \forall x \in \mathcal{U}; i &= 1,2, \dots, n; j = 1,2, \dots, m; \\ \mu_{\tilde{D}}(x) &\in [0,1]; \\ \mu_{\tilde{W}}(x) &\in [0,1]; \\ \mu_{\tilde{c}}(x) &\in [0,1]; \end{aligned}$$

Özkan(2003), geleneksel karar verme problemini, karar verici, hedef, karar ölçütü, seçenekler, olaylar ve sonuç olmak üzere altı bileşenden oluştuğunu söylemiştir. Özkan (2003)'a göre bileşenlerden karar verici ve seçeneklerde bulanıklık olmadığı, hedef ve karar ölçütünün bulanıklık içerebileceği belirtilmiştir. Çünkü ulaşılmak istenen hedef düzeyi duruma göre bulanıklık gösterebilir. Mesela hedef 200 civarında denilebilir. Karar ölçütü içinde aynısı geçerlidir. Belirli bir limitin biraz altı gibi bulanık kelimeler ile ifade edilebilir.

Geleneksel doğrusal programlama problemi aşağıdaki denklem ile gösterilir.

Amaç fonksiyonu;

$$\text{Maksimum } Z = \sum_{j=1}^n c_j x_j; j = 1,2, \dots, n$$

Kısıtlayıcılar;

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \leq b_i; i = 1,2, \dots, m; x \geq 0$$

Bu denklemlerde hedef programlama katsayıları ( $c_j$ ), kısıtlayıcı katsayıları ( $a_{ij}$ ) ve eşitsizlik sabitleri ( $b_i$ ) değişmez. Bu denklemlerde bu kısıtlar altında en uygun değer bulunmaya çalışılır. Fakat bu katsayılar kesin ifade edilemeyebilir. Bir malın satış fiyatı gerektiğinde düşürülebilir veya artırılabilir. Talep miktarı değişkenlik gösterebilir. Bazı yöntemler ile eşitsizlik katsayıları da değişebilir. Bu durumlarda bu katsayıların değerleri bulanık değerler ile gösterilmektedir.

Literatürde yaygın olarak kullanılan 4 tür bulanık doğrusal programlama vardır: bulanık kısıtlayıcı doğrusal programlama,

$$\text{Maksimum } (Z = c^T x)$$

Kısıtlayıcılar

$$(Ax)_i \lesseqgtr b_i$$

Bulanık amaç fonksiyonlu ve bulanık kısıtlayıcı doğrusal programlama,

$$\text{Maksimum } (Z = c^T x)$$

Kısıtlayıcılar

$$(Ax)_i \lesseqgtr b_i$$

Bulanık amaç katsayılı doğrusal programlama

$$\text{Maksimum } (Z = \tilde{c}^T x)$$

Kısıtlayıcılar

$$(Ax)_i \leq b_i$$

ve bulanık parametrelili doğrusal programlama.

$$\text{Maksimum } (Z = \tilde{c}^T x)$$

Kısıtlayıcılar

$$(\tilde{A}x)_i \leq \tilde{b}_i$$

Özkan'a göre bulanık hedef programlama çözümlerinin çoğunda Zimmermann yaklaşımından esinlenilmiştir. Zimmermann'a göre hedef bulanık amaç fonksiyonu probleme bulanık bir kısıt olarak katılabilir. Bu kısıtın boyutu karar verici tarafından belirlenmelidir. Bu yaklaşımın denklemsel gösterimi aşağıda gösterilmiştir.

$$c^T x \lesseqgtr b_i$$

Kısıtlayıcılar

$$\mu_i[(Bx)_i] = \begin{cases} 0; & \text{eğer } (Bx)_i \geq b_i + d_i \\ \in [0,1]; & \text{eğer } b_i \leq (Bx)_i \leq b_i + d_i \\ 1; & \text{eğer } (Bx)_i \leq b_i \end{cases}$$

$$(Ax)_i \lesseqgtr b_0$$

Bu yaklaşıma göre problem;

$$Bx \lesseqgtr e \text{ ve } x \geq 0 \text{ problemi haline gelir.}$$

Bu problemin i. üyelik kümesi de aşağıdaki gibi olur. Bu üyelik fonksiyonuna göre eğer eşitsizlik tamamen karşılandı ise 1 değerini, hiç karşılanmadı ise 0 değerini alır. Karşılama derecesine göre 1'den 0'a doğru azalır. Bulanık hedefler için Zimmermann tipi üyelik fonksiyonları aşağıdaki gibi tanımlanır.



$$(Ax)_i \cong b_i \quad (i = 1, 2, \dots, m_1) \Rightarrow$$

$$\mu_i(x) = \begin{cases} 0 & ; \text{eğer } (Ax)_i \leq b_i - d_i \\ 1 - \frac{b_i - (Ax)_i}{d_i} & ; \text{eğer } b_i - d_i \leq (Ax)_i \leq b_i \\ 1 - \frac{(Ax)_i - b_i}{d_i} & ; \text{eğer } b_i \leq (Ax)_i \leq b_i + d_i \\ 1 & ; \text{eğer } (Ax)_i \geq b_i + d_i \end{cases}$$

$$(Ax)_i \lesseqgtr b_i \quad (i = m_1 + 1, \dots, m_2) \Rightarrow$$

$$\mu_i(x) = \begin{cases} 1 & ; \text{eğer } (Ax)_i \leq b_i \\ 1 - \frac{b_i - (Ax)_i}{d_i} & ; \text{eğer } b_i \leq (Ax)_i \leq b_i + d_i \\ 0 & ; \text{eğer } (Ax)_i \geq b_i + d_i \end{cases}$$

$$(Ax)_i \gtrless b_i \quad (i = m_2 + 1, \dots, m_3) \Rightarrow$$

$$\mu_i(x) = \begin{cases} 0 & ; \text{eğer } (Ax)_i \leq b_i - d_i \\ 1 - \frac{(Ax)_i - b_i}{d_i} & ; \text{eğer } b_i - d_i \leq (Ax)_i \leq b_i \\ 1 & ; \text{eğer } (Ax)_i \geq b_i \end{cases}$$

Bu fonksiyonlarda i. bulanık hedef için karar vericinin belirlediği eşik değerinin  $b_i$  olduğu farz edilmiştir.

#### 4. SAHA ÇALIŞMASI

Bu bölümde Ereğli Demir Çelik Fabrikasına ait sürekli tavlama hattına ait veriler kullanılarak optimizasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Öncelikle, ısı transferi, kapasite, ısı balansı, kapasitenin tav çevrimine göre değişimi, tavlama sınırlılıkları, radyan tüp ısıtma bölüm kapasiteleri değerleri dikkate alınarak sistem modellenmesi gerçekleştirilmiştir. Daha sonra sistemin amaç ve kısıtları belirlenerek hedef programlama işlemi için gerekli olan öncelik durumlarının belirlenmesi sağlanmıştır.

##### Isı Transferi

CAL hattı fırın bölümlerinde, malzeme ve ısıtma / soğutma donanımları arasındaki ısı transferi temel olarak ışıma ve/veya konveksiyon şeklinde gerçekleşir.

Bu mekanizmalarda gerçekleşen ısı transferi fonksiyonu:

##### İşıma fonksiyonu:

$$Q_r = A.B. E_s. H_r. (T_2 - T_1) \quad (1)$$

##### Konveksiyon fonksiyonu:

$$Q_c = A. H_c. (T_2 - T_1) \quad (2)$$

$$A = \text{Isı transferi yüzeyi} = W.L.2$$

W = Şerit genişliği

L = Isı transfer alanı net uzunluğu

$E_s$  = Işıma yayım kabiliyeti katsayısı (emissivity) ( Işıma yayılım Katsayısı)

B = Kara cisim katsayısı

$H_r, H_c$  = Isı transferi katsayıları

2 çarpanı şeridin 2 yüzeyi için kullanılmıştır

##### Kapasite

$$P = g.W. T.V.60 \quad (3)$$

W = Malzeme şerit genişliği

T = Malzeme şerit kalınlığı

G = Özgül ağırlık

V = Proses Hızı

P = Proses kapasitesi

Bu kapasite için gerekli olan ısı miktarı;

$$Q_s = C_p. (T_2 - T_1).P \quad (4)$$

$C_p$  = Özgül Isı

##### Isı Balansı

Isı eşitlik denklemlerinden;

Alınan ısı = Verilen ısı

$Q_s = Q_r + Q_c$  (Bu denklemden % 10'dan az olan fırın kayıpları ihmal edilmiştir.)

(1), (2), (3) ve (4) numaralı denklemleri kullanarak;

$$C_p.(T_2 - T_1).g.W.t.V.60 = A.[ H_r.B. E_s + H_c ]$$

$$C_p.g.W.t.V.60 = W.L. [H_r.B. E_s + H_c]$$

$$g.W.t.V.60 = \frac{W.L.[H_r.B.E_s + H_c]}{C_p}$$

$$P = f(W.L)$$

Isıtma ve soğutma işlemlerinde ısı transfer mekanizmalarının değişmediği varsayılırsa; kapasitesinin şerit genişliği ve ısı transfer alanı net uzunluğunun (fırın uzunluğu) fonksiyonu olduğu görülmektedir.

Kapasite bu iki değişken ile orantılıdır.

$$C_p.g.t.V.60 = W.L.[ H_r.B. E_s + H_c ]$$

$$t.V = \frac{L.[H_r.B.E_s + H_c]}{C_p.g.60}$$

“Şerit kalınlığı x Hız” değeri ısıtma ve soğutma işlemleri ile fırın uzunluğuna bağlı olarak sabittir.

##### Kapasitenin tav çevrimine göre değişimi

$Q_r + Q_c$  toplamı fırın kuruluş standartlarına göre sabit kabul edilirse;

$$Q_s = C_p \cdot (T_2 - T_1) \cdot P = Q_r + Q_c = \text{sabit}$$

#### Tavlama Sınırlılıkları:

Ürün Kalitesi	Şerit Sıcaklığı (°C)	Zaman (Sn.)
CQ	720 ± 30	≥ 40
DQ-1	770 ± 30	≥ 40
DQ-2	780 ± 30	≥ 40
DDQ	800 ± 30	≥ 40
EDDQ	830 ± 30	≥ 40

Hat hızı maksimum 320 m/d. olacaktır.

#### Radyan Tüp Isıtma Bölümü Kapasitesi

Bölüm	Bölge	Tüp Adedi	Teorik Gerçek Kapasite Kcal/H	
			Tüp	Zon
RTH1	1	59	85 000	4 900 000
RTH1	2	58	85 000	4 975 000
RHT1	3	69	85 000	5 649 000
RHT1	4	70	85 000	5 621 000
RTH2	5	29	120 000	3 460 000
RTH2	6	30	120 000	3 626 000
RTH2	7	30	120 000	3 260 000
RTH2	8	30	120 000	3 260 000
TOTAL	8	375	-	34430 000

Amacımız yukarıdaki verileri kullanarak hattın ısı kapasitesi sabit olduğu için kalite geçişlerindeki harcanacak olan enerjiyi minimum yapacak olan bulanık hedef programlama denklemi gerçekleştirmektir. Burada kısıtlar şeridin kalite bazına olan tavlama sıcaklıkları, şeridin tavlama bölgesindeki kalma zamanı (40 saniyeden büyük olmalı) ve ısıtıcıların ısıtma değerleridir. Bu denklemde;

Amaçlar:

1. Üretimi maksimize etmektir. ( Kalite geçişlerinde her genişlik ve kalınlık değeri için en uygun ısı ve hız geçişlerini bulmak. )

Kısıtlamalar:

1. Kalitelerin belirli sıcaklıklar aralıklar arasında çekilmesini sağlamak.
2. Isıtıcıların verebileceği maksimum kalori miktarı
3. Şeridin alabileceği genişlik ve kalınlık sınırlamaları
4. Fırının alabileceği maksimum şerit uzunluğu

5. Hattın maksimum ve minimum hız miktarı (Üretim hızı şeridin 40 m/dakika içinde fırın bölgesinden geçilmesini sağlamalı.)

Bu işlemler için en fazla üretilen 6 adet kalınlık ve genişlik aralığı kullanılmıştır.

Kalınlık Aralığı	Genişlik Aralığı
0.40 - 0.50	1100 – 1200
0.51 - 0.60	1200 – 1300
0.71 - 0.80	1200 – 1300
0.81 - 0.90	1200 – 1300
0.91 - 1.00	1200 – 1300
1.01 - 1.20	1000 – 1100

$$\text{Gerekli ısı miktarı} = C_p * g * w * t * V * 60 * (T_2 - T_1) * L$$

- $C_p$  = özgül ısı  
 $g$  = özgül ağırlık  
 $w$  = şerit genişliği  
 $t$  = şerit kalınlığı  
 $v$  = şerit hızı  
 $T_n$  = sıcaklık  
 $L$  = fırın uzunluğu

#### İşlem kısıtları:

Kalınlık sınırlamaları:

$$0.40 \text{ mm} \leq t \leq 2.00 \text{ mm}$$

Genişlik sınırlamaları:

$$625 \text{ mm} \leq w \leq 1525 \text{ mm}$$

Hız sınırlamaları:

$$30 \text{ m/d.} \leq v \leq 320 \text{ m/d.}$$

Kalite sıcaklıkları sınırlamaları:

$$\text{CQ} \quad \text{kalite için; } 720 \pm 30 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\text{DQ-1} \quad \text{kalite için; } 770 \pm 30 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\text{DQ-2} \quad \text{kalite için; } 780 \pm 30 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\text{DDQ} \quad \text{kalite için; } 800 \pm 30 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\text{EDDQ} \quad \text{kalite için; } 850 \pm 20 \text{ }^\circ\text{C}$$

Fırın uzunluğu = RTH1 uzunluk + RTH2 uzunluk

$$L = 292 + 278 = 570 \text{ metre}$$

Toplam ısıtma kapasitesi fırın boyunca (375 adet radyan tüp için)

#### Değişkenler:

CQ kalite için;

DDQ kalite için;

$v_1$  Şerit hızı,  $v_4$  Şerit hızı,  
 $t_1$  Şerit kalınlığı,  $t_4$  Şerit kalınlığı,  
 $w_1$  Şerit genişliği,  $w_4$  Şerit genişliği,  
 $x_1$  Şerit sıcaklığı,  $x_4$  Şerit sıcaklığı  
 DQ-1 kalite için; EDDQ kalite için;  
 $v_2$  Şerit hızı,  $v_5$  Şerit hızı,  
 $t_2$  Şerit kalınlığı,  $t_5$  Şerit kalınlığı,  
 $w_2$  Şerit genişliği,  $w_5$  Şerit genişliği,  
 $x_2$  Şerit sıcaklığı,  $x_5$  Şerit sıcaklığı

DQ-2 kalite için;  
 $v_3$  Şerit hızı,  
 $t_3$  Şerit kalınlığı,  
 $w_3$  Şerit genişliği,  
 $x_3$  Şerit sıcaklığı

#### Sabitler:

Özgül ağırlık:  $7,80 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$

Özgül ısı:  $0,1170 \text{ kilo Kalori / kg } ^\circ\text{C}$

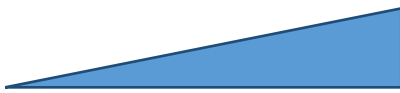
Fırın Isı Kapasitesi =  $3440000 \text{ Cal} \cdot \text{m} / \text{h}$

Sabit  $C = C_p \cdot g \cdot 60 \cdot L$

#### Denklemlerin ve Kısıtların oluşturulması:

$0,40 \text{ mm} \leq t_1, t_2, t_3, t_4, t_5 \leq 2,00 \text{ mm}$   
 $625 \text{ mm} \leq w_1, w_2, w_3, w_4, w_5 \leq 1525 \text{ mm}$   
 $1800 \text{ m/saat} \leq v_1, v_2, v_3, v_4, v_5 \leq 19200 \text{ m/saat}$   
 $690 \text{ }^\circ\text{C} \leq x_1 \leq 750 \text{ }^\circ\text{C}$   
 $740 \text{ }^\circ\text{C} \leq x_2 \leq 800 \text{ }^\circ\text{C}$   
 $750 \text{ }^\circ\text{C} \leq x_3 \leq 810 \text{ }^\circ\text{C}$   
 $770 \text{ }^\circ\text{C} \leq x_4 \leq 830 \text{ }^\circ\text{C}$   
 $830 \text{ }^\circ\text{C} \leq x_5 \leq 870 \text{ }^\circ\text{C}$

#### Bulanık Hedef Programlama Denklemlerinin ve Kısıtların Oluşturulması



1800  $d_i$   $b_i = 19200$

Tiwari, Dharmar ve Rao'nun Toplamsal Model yaklaşımına uygun üyelik fonksiyonumuz;

$$\mu_i(x) = \left\{ 1 - \frac{(b_i - v_i(x))}{d_i}; \quad b_i - d_i \leq v_i(x) \leq b_i \right.$$

$$1 - \frac{(19200 - v_1)}{16800} = \mu_1 \text{ (m/h)}$$

$$1 - \frac{(19200 - v_2)}{16800} = \mu_2 \text{ (m/h)}$$

$$1 - \frac{(19200 - v_3)}{16800} = \mu_3 \text{ (m/h)}$$

$$1 - \frac{(19200 - v_4)}{16800} = \mu_4 \text{ (m/h)}$$

$$1 - \frac{(19200 - v_5)}{16800} = \mu_5 \text{ (m/h)}$$

$$C * w_1 * t_1 * v_1 * (x_1 - x_0) \leq 3440000$$

$$C * w_2 * t_2 * v_2 * (x_2 - x_1) \leq 3440000$$

$$C * w_3 * t_3 * v_3 * (x_3 - x_2) \leq 3440000$$

$$C * w_4 * t_4 * v_4 * (x_4 - x_3) \leq 3440000$$

$$C * w_5 * t_5 * v_5 * (x_5 - x_4) \leq 3440000$$

$$0,40 \cdot 10^{-3} \text{ m} \leq t_1 \leq 2,00 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$0,40 \cdot 10^{-3} \text{ m} \leq t_2 \leq 2,00 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$0,40 \cdot 10^{-3} \text{ m} \leq t_3 \leq 2,00 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$0,40 \cdot 10^{-3} \text{ m} \leq t_4 \leq 2,00 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$0,40 \cdot 10^{-3} \text{ m} \leq t_5 \leq 2,00 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$625 \cdot 10^{-3} \text{ m} \leq w_1 \leq 1525 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$625 \cdot 10^{-3} \text{ m} \leq w_2 \leq 1525 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$625 \cdot 10^{-3} \text{ m} \leq w_3 \leq 1525 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$625 \cdot 10^{-3} \text{ m} \leq w_4 \leq 1525 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$625 \cdot 10^{-3} \text{ m} \leq w_5 \leq 1525 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$1800 \leq v_1 \leq 19200 \text{ m/h}$$

$$1800 \leq v_2 \leq 19200 \text{ m/h}$$

$$1800 \leq v_3 \leq 19200 \text{ m/h}$$

$$1800 \leq v_4 \leq 19200 \text{ m/h}$$

$$1800 \leq v_5 \leq 19200 \text{ m/h}$$

$$690 \text{ }^\circ\text{C} \leq x_1 \leq 750 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$740 \text{ }^\circ\text{C} \leq x_2 \leq 800 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$750 \text{ }^\circ\text{C} \leq x_3 \leq 810 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$770 \text{ }^\circ\text{C} \leq x_4 \leq 830 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$830 \text{ }^\circ\text{C} \leq x_5 \leq 870 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\mu_1 \geq 0, \mu_2 \geq 0, \mu_3 \geq 0, \mu_4 \geq 0, \mu_5 \geq 0$$

Ağırlıkların bulunması için yıllık üretim miktarı oranları temel alınmıştır. Buna göre CQ kalite için değişkenlerin ağırlıkları %60, DQ-1 kalite için değişkenlerin ağırlıkları %11, DQ-2 kalite için değişkenlerin ağırlıkları %11,



DDQ kalite için değişkenlerin ağırlıkları %15 ve EDDQ kalite için değişkenlerin ağırlıkları %3 olarak alınmıştır.

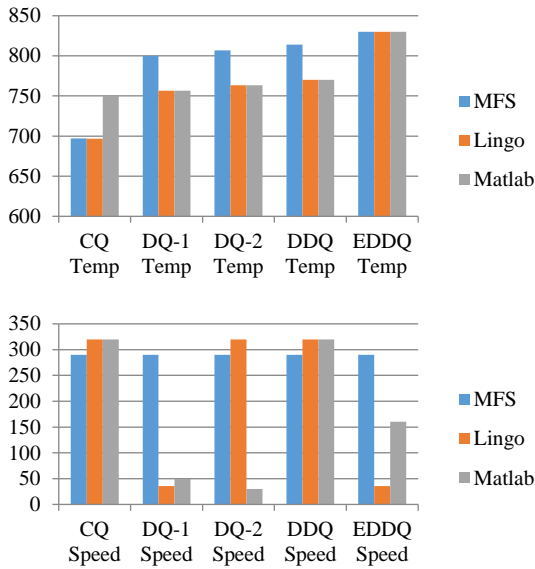
Buna göre oluşturulan maksimizasyon denklemi:

$$\text{Maksimum } \sum \{0.6 * \mu_1 + 0.11 * \mu_2 + 0.11 * \mu_3 + 0.15 * \mu_4 + 0.03 * \mu_5\}$$

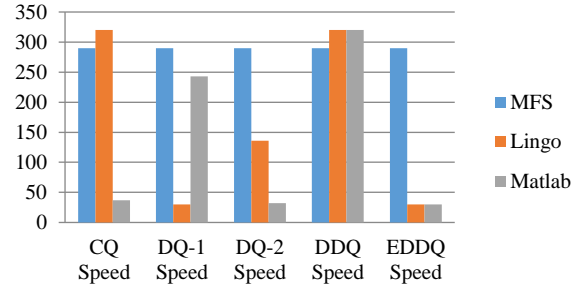
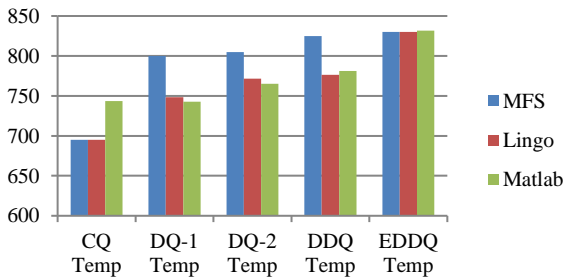
## 5. SONUÇLAR

Bulanık hedef programlama denklemleri ve kısıtları, üretim hatlarında en çok üretilen ebatlar için Lingo, Microsoft Solver Foundation ve Matlab Fmincon yazılımları ile denenmiştir. Programların çalıştırılması sonucu üretilen sonuçlar grafik olarak aşağıdaki gibi bulunmuştur.

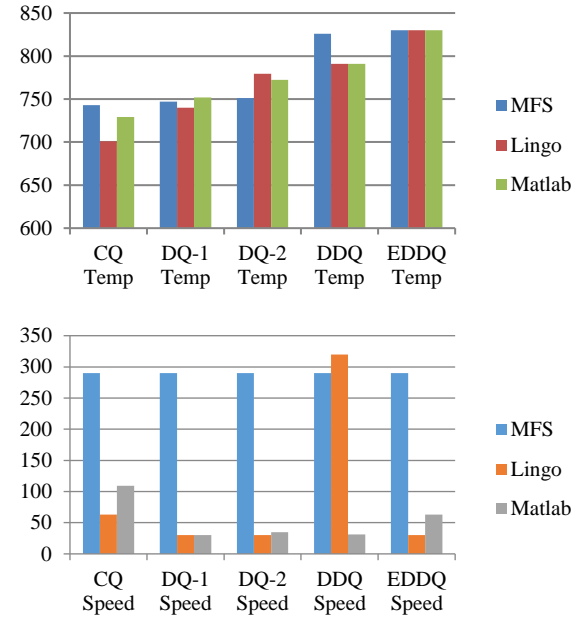
**Grafik 1.** 0.45 mm kalınlık ve 1150 mm genişlik için en uygun hız ve sıcaklık grafiği



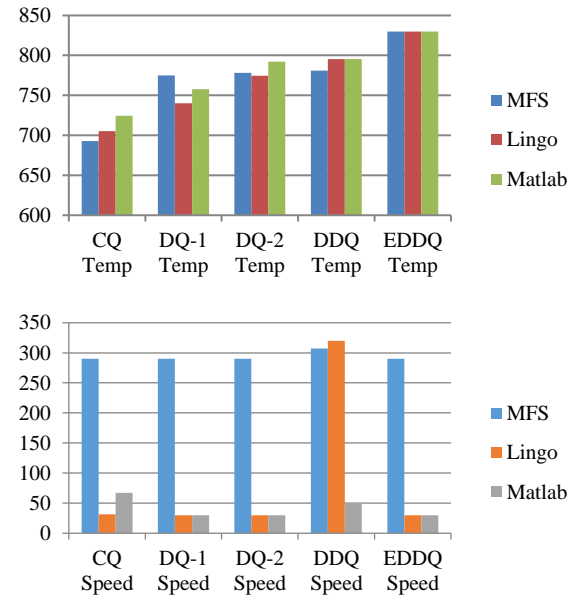
**Grafik 2.** 0.55mm kalınlık ve 1250 mm genişlik için en uygun hız ve sıcaklık grafiği



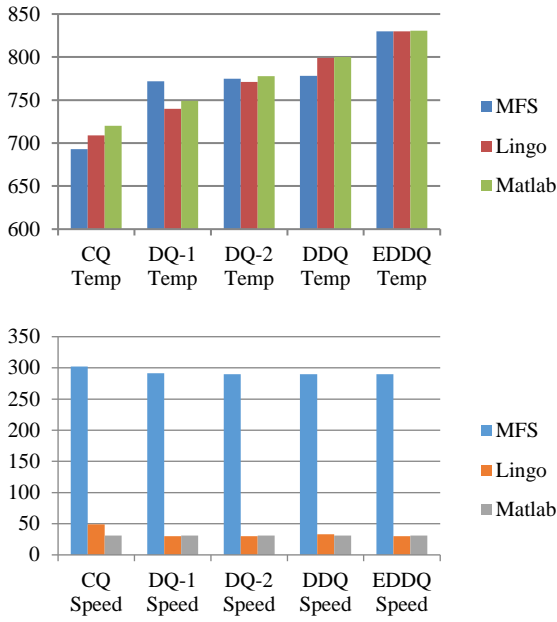
**Grafik 3.** 0.75 mm kalınlık ve 1250 mm genişlik için en uygun hız ve sıcaklık grafiği



**Grafik 4.** 0.85 mm kalınlık ve 1250 mm genişlik için en uygun hız ve sıcaklık grafiği



**Grafik 5.** 0.95 mm kalınlık ve 1250 mm genişlik için en uygun hız ve sıcaklık grafiği



## References

- Arumugam, M. S., Chandramohan, A., Murthy G. R.(2011). On the optimal control of steel annealing processes via various versions of genetic and particle swarm optimization algorithms. *International Journal of Bio-Inspired Computation*, 12, 371-392
- Carvalho, S.R., Ong, T.H. ve Guimaraes, G.(2006). A mathematical and computational model of furnaces for continuous steel strip processing. *Journal of Materials Processing Technology*, 178, 379 – 387
- Charnes A., Cooper, W.W. ve Ferguson,R. (1955). Optimal estimation of executive compensation by linear programming. *Journal of Management Science*, 1, 138-151.
- Chen, Y., Chen, L. and Chien-Yu Huang. (2009). Fuzzy Goal Programming Approach to Solve the Equipment - Purchasing Problem of an FMC. *International Journal of Industrial Engineering*, 270-281.
- Choa, Y.C. , Cassandrasb, C. G. ve Kwon W. H. (2004). Optimal control for steel annealing processes as hybrid systems. *Journal of Control Engineering Practice*, 12, 1319–1328
- Dini, G. , Vaghefi, S.M.M. ve Lotfiani,M. (2008). Computational and experimental failure analysis of continuous-annealing furnace radiant tubes. *Journal of Engineering Failure Analysis*, 15, 445–457.
- Erdin, Dr. C. (2008). Bulanık Hedef Programlama ve Su havzasında bir uygulama. *Journal of İstanbul University Social Sciences*, 89-108
- Erkan, K. ve Kale, S. (2007) Bulanık Hedef Programlama Yöntemi ile Süre-Maliyet-Kalite Eniyilemesi. *Construction Management Congress*, 109-118
- Ertuğrul, İ. (2005). Bulanık Hedef Programlama Ve Bir Tekstil Firmasında Uygulama Örneği. *Journal of Eskişehir Osmangazi University Social Sciences*, 45-78
- Ertuğrul, İ. ve Güneş, M. (2007). Fuzzy Goal Programming and an Application of Production Process. *Analysis and Design of*

## 6. YORUM VE GELECEK İÇİN ÖNERİLER

Yukarıdaki grafiklerden görüleceği üzere ince en yüksek hız performansını bulmada Microsoft firmasının Solver Foundation 3.0 çerçevesinin içinde tanımlandığı “HybridLocalSearchDirective” en iyileme algoritması sağlamıştır. Lingo yazılımı için NLP sınıfı en iyileme sınıfı ve matlab için yukarıdaki hedef formülde değişiklik yapılarak (1- max  $V(\lambda)$ ) fmincon (Find minimum of constrained nonlinear multivariable function) fonksiyonu kullanılmıştır. Fakat genelde Lingo ve Matlab’ın en iyileme fonksiyonlarının ürettiği sonuçlar pek tatmin edici olmamıştır. Fakat yapılan çalışmalarda yine de 290 m/dk. Hıza ulaşmak mümkün olabilmıştır. Maksimum üretim kapasitesine ulaşmak, dolayısıyla üretim maliyetlerini düşürmek için çalışmalara sezgisel algoritmaları da dâhil ederek çalışmalara devam etmek gerekmektedir. Bu sayede enerji verimliliği de sağlanmış olacaktır çünkü enerji verimliliği sağlamanın bir yolu da sıcaklık geçişlerinin az olmasında yatmaktadır. Gelecekte hızı maksimum hız olan 320 (m/h) ‘ye çıkarmak için çalışmalara devam edilecektir.

Intelligent Systems using Soft Computing Techniques Advances in Soft Computing, 41, 649-659.

- Goswami, A., A., Singh, R.K., Prasad, A., Chowdhuri, Dr.S. (2012). Mathematical model based control system for Silicon Steel Mill of Rourkela Steel Plant. *Journal of Procedia Technology*, 4, 867-872
- Guo C. , Zhang, Y. , You, X., Chen X. and Zhang, Y.(2009). Optimal Control of Continuous Annealing Process Using PSO. *Int. Conference on Automation and Logistics*, 602-606
- Güneş, M. ve Umarosman, N. (2005). Fuzzy Goal Programming Approach on Computation of the Fuzzy Arithmetic Mean. *Mathematical and Computational Applications*, 211-220
- Güneş, M. ve Umarusman N. (2007). Bir Karar Destek Aracı Bulanık Hedef Programlama ve Yerel Yönetimlerde Vergi Optimizasyonu Uygulaması. *Review of Social, Economic & Business Studies*, 242-255
- Hans, J. Z. (1991). *Fuzzy Set Theory and its Application*. Kluwer Academic Publisher, Boston.
- Jeong, S. H., Yi, J.J., Kim, J.K. ve Ha, M.Y. (1991). Computer Modeling of the Continuous Annealing Furnace. *Journal of KSME*, 5, 16-21
- Kağncıoğlu, C.H. (2006). Hedef Programlama ve Bulanık Hedef Programlama Arasındaki ilişki. *Journal of Gazi University Economics and Administrative Sciences Faculty*, 17-38
- Kelly, C. D. , Watanapongse, D. ve Gaskey, K. M.(1998). Application of Modern Control to a Continuous Anneal Line. *IEEE Control Systems Magazine*, 32-37.
- Lia, S., Qing Chena, Q. ve Huang, G.(2006). Dynamic temperature modeling of continuous annealing furnace using GGAP-RBF neural network. *Journal of Neurocomputing*, 69, 523–536
- Liang, T. (2006). Applying fuzzy goal programming to production / transportation planning decisions in a supply chain. *International Journal of Systems Science*, 293-304
- Liang, T. ve Cheng, H. (2011). Multi-Objective Aggregate Production Planning Decisions Using Two-Phase Fuzzy Goal Programming Method. *Journal Of Industrial And Management Optimization*, 7, 365-385.

- Marlow D.O. (1996). Modelling direct-fired annealing furnaces for transient operations. *Journal of Application Mathematics Modelling*, 20, 34-40
- Mekidiche, M. ve Belmokaddem, M. (2013). Weighted Additive Fuzzy Goal Programming Approach to Aggregate Production Planning. *I.J. Intelligent Systems and Applications*, 4, 20-29.
- Mekidiche, M., Hocine, M. ve Abdelkader S. (2013). Application of tolerance approach to fuzzy goal programming to aggregate production planning. *Int. J. Mathematics in Operational Research*, 5, 183-204.
- Özcan, U. ve Toklu, B. (2009). Multiple-criteria decision-making in two-sided assembly line balancing: A goal programming and a fuzzy goal programming models. *Journal of Computers & Operations Research*, 36, 1955 - 1965
- Özkan, M. M. (2003). Bulanik Hedef Programlama. Ekin Kitabevi, İstanbul.
- Selim, H. , Araz, C. ve Özkarahan İ. (2008). Collaborative production–distribution planning in supply chain: A fuzzy goal programming approach. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 396-419.
- Sert, Ü. (2015). Haddemele Hakkında. <http://www.arsivbelge.com/yaz.php?sc=2418>
- Wan F., Wang Y. ve Qin S. (2012). Modeling of Strip Heating Process in Vertical Continuous Annealing Furnace, *Journal Of Iron And Steel Research*, 19, 29-36
- Wen-le, W., Jian-ping, L. , Fu-an, H. ve Xiang-hua L. (2010). Application of Self-Learning to Heating Process Control of Simulated Continuous Anneal. *Journal Of Iron And Steel Research*, 17, 27-31
- Yaghoobi, M.A., Jons, D.F., Tamiz. (2008). Weighted additive models for solving fuzzy goal programming problems. *Int. Journal of Intelligent Systems and Applications. Asia Pacific Journal of Operation Research* , 25, 715-730
- Yanagishima, F., Shimoyama, Y., Suzuki, M., Sunami, H., Haga, T., Ida, Y. ve Irie T. (1981). Characteristics and Operation of Multipurpose Continuous Annealing Line at Chiba Works. *Kawasaki Steel Technical Report*, 2, 1-13
- Yoshitani, N. ve Hasegawa A. (1998). Model-Based Control of Strip Temperature for the Heating Furnace in Continuous Annealing. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 6, 146-156
- Zhang, Y. , Li, S. ve Tenga, Y. (2012). Dynamic processes monitoring using recursive kernel principal component analysis. *Journal of Chemical Engineering Science* , 72, 78–86
- Zhou, M., Yu D. ve Zhou J. (2008). A New Strip Temperature Control Method for the Heating Section of Continuous Annealing Line. *Cybernetics and Intelligent Systems 2008 IEEE Conference*, 861 – 864