

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ ENERJİ ENSTİTÜSÜ

**ENDÜSTRİYEL ENERJİ VERİMLİLİĞİ ÇALIŞMALARINDA
DEĞER AKIŞ HARİTALARININ KULLANIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Cem KESKİN

Enerji Bilim ve Teknolojisi Anabilim Dalı

Enerji Bilim ve Teknolojisi Programı

OCAK 2013

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ ENERJİ ENSTİTÜSÜ

**ENDÜSTRİYEL ENERJİ VERİMLİLİĞİ ÇALIŞMALARINDA
DEĞER AKIŞ HARİTALARININ KULLANIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Cem KESKİN
(301091092)**

Enerji Bilim ve Teknolojisi Anabilim Dalı

Enerji Bilim ve Teknolojisi Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Gülgün KAYAKUTLU

OCAK 2013

İTÜ, Enerji Enstitüsü'nün301091092..... numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Cem KESKİN**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**ENDÜSTRİYEL ENERJİ VERİMLİLİĞİ ÇALIŞMALARINDA DEĞER AKIŞ HARİTALARININ KULLANIMI**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Doç. Dr. Gülgün KAYAKUTLU**

İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Sermin ONAYGİL**

İstanbul Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Şule İtir Şatoğlu

İstanbul Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **17 Aralık 2012**

Savunma Tarihi : **25 Ocak 2013**

Anne ve Babama,

ÖNSÖZ

Dünyada hızla artmakta olan enerji talebinin nasıl karşılanacağı, günümüzün en önemli sorularından birisidir. Zira ülkelerin enerji kaynaklarına güvenli ve ucuz yollardan ulaşması, vatandaşların ekonomik ve sosyal refahı açısından oldukça önemlidir. Savaşlara sebep olabilen, doğaya geri dönüşsüz tahribatlar veren ve yüksek bedellere mal olan enerji kaynaklarının etkin kullanımı enerji politikaları açısından oldukça kritiktir. Özellikle imalat sektöründe olduğu gibi enerji kaynaklarını yoğun olarak tüketen işletmelerin bu konudaki sorumlulukları yüksektir.

Bu tez çalışması kapsamında, imalat işletmelerinde enerji verimliliğini artırmaya yönelik olarak sürdürülen çalışmalarda değer akış haritalarının kullanımı ele alınmıştır. Üretim yönetiminde etkili bir araç olan değer akış haritalarının, enerji verimliliği çalışmaları için de kullanılabilirliği gösterilmiş ve bir metod önerisi geliştirilmiştir.

Tez çalışması boyunca sabır, bilgi ve birikimini esirgmeden bana her zaman yol gösteren ve bu süreçte birçok teknik ve sosyal beceri edinmemi sağlayan sayın hocam Doç. Dr. Gülgün Kayakutlu'ya minnet ve teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca, bu çalışmada geliştirilen metod için basit bir uygulama yapmama imkân tanıyan Vizyon Plastik AŞ yetkililerine teşekkürü bir borç bilirim.

Her zaman bana inanan, destek veren ve yanımda olan annem, babam ve kardeşlerim ile yardımlarını asla esirgemeyen arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Ocak 2013

Cem KESKİN

(Fizikçi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
SUMMARY	xix
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR TARAMASI	5
2.1 Enerji Verimliliği	5
2.1.1 Endüstride enerji verimliliğini artırıcı genel önlemler.....	6
2.1.2 Elektrik Sistemleri.....	8
2.1.3 Isıl Sistemler	9
2.1.3.1 Kazanlarda enerji verimliliği.....	9
2.1.3.2 Fırınlarda enerji verimliliği	10
2.1.3.3 Buhar sistemlerinde enerji verimliliği.....	11
2.1.4 Kompresör kaçaklarının ve basınç düşüşlerinin önlenmesi.....	12
2.2 Yalın Üretim ve Değer Akış Haritaların	12
2.2.1 Yalın üretim kavramı	12
2.2.1.1 Yalın üretimde israf kavramı	13
2.2.1.2 Yalın üretimin temel ilkeleri	14
2.2.1.3 Yalın üretimin temel araçları	16
2.2.1.4 İşletmelerde yalın üretime geçiş süreci	17
2.2.2 Değer akış haritaları	19
2.2.2.1 Değer akış haritası hazırlama işlemi	20
2.2.2.2 Değer akış haritalarının üstünlükleri.....	22
2.2.2.3 Değer akış haritalarının sakıncaları.....	23
2.3 Bayes Ağları	24
2.3.1 Bayes ağlarının tanımı	25
2.3.2 Bayes ağlarının yapısı	26
2.3.3 Bayes ağlarının oluşturulması.....	27
3. DEĞER AKIŞ HARİTALARININ ENERJİ VERİMLİLİĞİ ÇALIŞMALARINDA KULLANIMI İÇİN YÖNTEM ÖNERİSİ	31
3.1 Yalın Analiz	31
3.2 Enerji Verimliliği Analizleri	31
3.3 Gelecek Durum Enerji Değer Akış Haritasının Oluşturulması	32
4. UYGULAMA ÇALIŞMASI	35
4.1 Birinci Aşama: İmalata Ait Değer Akış Haritasının Oluşturulması.....	35
4.2 İkinci Aşama: Enerji Değer Akış Haritalarının Oluşturulması	38
4.3 Üçüncü Aşama: İyileştirme Senaryo Geliştirme ve Gelecek Durum Enerji Değer Akış Haritasının Oluşturulması	41

5. SONUÇ ve ÖNERİLER.....	50
5.1 Sonuç.....	50
5.2 Öneriler.....	51
6. KAYNAKLAR.....	53

KISALTMALAR

DAH	: Değer Akış Haritası
E-DAH	: Enerji Değer Akış Haritası
GDH	: Gelecek Durum Haritası
EV	: Enerji Verimliliği
DYEK	: Değer Yaratmayan Enerji Kullanımı
YMBE	: Yarı Mamüllere Bağlı Enerji
FÜ	: Fazla Üretim
HÜ	: Hatalı Üretim
HEK	: Hücresel Enerji Kullanımı
EVK	: Enerji Verimliliği Kaizenleri
TÜB	: Toptan Üretken Bakım
C/O	: Model Değiştirme Süresi
I/T	: Çevrim Süresi
V/A	: Katma Değer Süresi
L/T	: Akış Süresi
BA	: Bayes Ağı
KOBİ	: Küçük ve Orta Ölçekli İşletmeler
KYL	: Kaplı Yonga Levha
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1 : Değer akış haritalarında kullanılan semboller ve anlamları	20
Çizelge 4.1 : Yalın üretim ve endüstriyel enerji verimliliği araçları	42
Çizelge 4.2 : Etkenler arası etkileşim tablosu.....	44

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1 : Seri bağlantı.....	27
Şekil 2.2 : Yakınsayan bağlantı.	27
Şekil 2.3 : Iraksayan bağlantı.	27
Şekil 3.1 : Yalın enerji analizi yol haritası	32
Şekil 4.1 : Mevcut durum değer akış haritası.	37
Şekil 4.2 : Mevcut durum enerji değer akış haritası.	40
Şekil 4.3 : Nedensel harita.	45
Şekil 4.4 : Bayes Ağı.	46
Şekil 4.5 : Bayes Ağının Netica yazılımındaki başlangıç görünümü.	46
Şekil 4.6 : Birinci senaryoya ait Bayes Ağı.....	47
Şekil 4.7 : İkinci senaryoya ait Bayes Ağı.....	47
Şekil 4.8 : Gelecek Durum Enerji Değer Akış Haritası.....	49

ENDÜSTRİYEL ENERJİ VERİMLİLİĞİ ÇALIŞMALARINDA DEĞER AKIŞ HARİTALARININ KULLANIMI

ÖZET

Hızla gelişen dünyada enerji kaynaklarının kullanımı dikkatle ele alınması gereken bir konudur. Özellikle fosil yakıtların kullanımı, hem günümüz hem de gelecek açısından önem arz etmektedir. Başta kömür, doğalgaz ve elektrik olmak üzere enerji kaynaklarının en yoğun olarak kullanıldığı alanlardan birisi imalat sektörüdür. Bu yüzden, imalat işletmelerinde enerji yönetimi, hem işletmeler hemde ülkeler açısından kritik öneme sahiptir. Günümüzde yasal düzenlemeler ve teşvik programları ile artırılmaya çalışılan verimlilik oranları, henüz istenilen oranlara yaklaşmamıştır. Dolayısıyla endüstriyel enerji verimliliği ve tasarrufunu artıracak yeni politikalar ve araçlar geliştirilmeye devam edecektir. Enerji verimliliği çalışmaları, enerji üretimi ve tüketiminin çevresel etkileri de göz önünde bulundurularak ele alındığında daha da kritik hale gelmektedir.

İmalat sektöründe her türlü israfın önlenmesi esasına dayanan yalın üretim felsefesi, imalat yönetiminde kullanılacak bazı yeni yaklaşım ve araçları beraberinde getirmiştir. Yalın üretimin dayanağı olan beş temel ilke değer, değer akışı, akış, çekme ve mükemmelliktir. Bu ilkelerin hayata geçirilmesi sürecinde kullanılan araçların en önemlilerinden birisi değer akış haritaları pratik ve etkili bir kağıt-kalem tekniğidir. Değer akış haritaları, bir ürünün imalatı sürecinde değer yaratılan ve yaratılmayan işlemlerin tespit edilmesini sağlayarak iyileştirme yapılabilecek noktaların belirlenmesini mümkün kılar. Değer akışı haritalama sürecinde tesiste yapılan etütlerle oluşturulan mevcut durum haritası hazırlandıktan sonra, belirlenen noktalarda yapılacak iyileştirmelerle işletmenin ulaşacağı durumu gösteren gelecek durum değer akış haritası hazırlanır. Bu aşamada tespit edilen birden fazla iyileştirmenin hepsinin aynı anda gerçekleştirilmesi kaynak eksikliği sebebiyle genellikle pek mümkün olmaz. Dolayısıyla, belirlenen çeşitli olasılıkların sınanması ve bunların performanslarının birbirleri ile karşılaştırılması gereklidir. Senaryo hazırlamak üzere kullanılacak araçlardan birisi, bir tür bilişsel haritalama tekniği olan Bayes (İnanç) Ağları'dır. Mevcut durum haritaları üzerinde tespit edilen iyileştirme noktalarına ait israfın önlenmesine yönelik veri ve bilgileri kullanarak gelecek durum değer akış haritasının hazırlanması aşamasında Bayes Ağları destek olabilir. Bu tez çalışması kapsamında, değer akışı haritalamada gelecek durum haritasına geçiş aşamasında Bayes inanç ağlarının, enerji israflarının önlenerek verimliliğin artırılmasında kullanıldığı bir yöntem geliştirilmiş ve yöntemin kullanılabilirliğini sınanan basit bir uygulama çalışması yapılmıştır.

USING VALUE STREAM MAPS FOR INDUSTRIAL ENERGY EFFICIENCY PROJECTS

SUMMARY

In a rapidly developing world, usage of energy resources requires a special attention. Especially, usage of fossil fuels is critical for both today and future. Manufacturing industry is one of the most intense users of energy sources like coal, natural gas and electricity. Because of this fact, energy management in industrial plants is crucial for both companies and countries. Today, industrial energy efficiency is tried to improve by official regulations and government promotions but still could not reach an acceptable level. So, it is urgent to develop new policies, technologies and tools to improve industrial energy efficiency and savings. Efficient use of energy is extremely critical in energy consumption, and the saving potential in different industries allows research on efficiency improvement projects. Today, main focus of the industrial energy efficiency studies are on the equipments that use intense energy. We can see samples of studies focused on variable speed drivers, waste heat recovery, high efficient motor utilization, preventing the leaks in air compressors and preventing the pressure drop. A typical energy efficiency study in industry field focuses on determining energy intensive processes, analysis of energy bills, determining theoretical minimum energy usage, determining key performance indicators, searching new processes and technologies. Importance of energy efficiency became clearer if it is handled with the environmental impacts of energy production and consumption. International regulations and customer preferences make companies to be more sensitive about energy usage.

Lean production is an engineering approach which is based on avoiding all kind of non-value adding activities and supplies new approaches and tools. Lean production is the way of putting entire value stream for specific products relentlessly in the foreground and rethinking every aspect of jobs, careers, functions, and firms in order to correctly specify value and make it flow continuously along the whole length of the stream as pulled by the customer in pursuit of perfection. Five main principles of lean production are value, value stream, flow, pull system and perfection. Some special tools are developed while realizing these principles. Some of the these important tools are value and value stream mapping, determining and preventing all kind of wastes (material, time, human sources etc.) takt time, kanban and visualization, 5S, standard work, pull system, creating one piece flow, continuous improvement and perfection, process kaizens, reducing setup and setting times, reducing maintenance times and cellular manufacturing.

Value Stream mapping is one of the most important tools of lean manufacturing and beneficial in order to identify value adding and non-value adding tasks and processes. Value stream mapping allows observing the flow of material and information as a product or service makes its way through the value chain. While mapping values stream, firstly, current state maps are prepared by hands on experiences in the plant and then future state map, which shows target improvements, is prepared. It is useful for determining the bottlenecks but achieving the targets is a challenge.

While preparing future state maps and deciding on improvements, it is generally impossible to focus on all of the waste sources; so it is needed to try some scenarios and compare the overall performances. Bayesian (belief) Networks are one of these tools, which can be used for observing the outcomes of different scenarios. Bayesian Networks can exploit the data and knowledge about sources of waste and support the preparation of future state maps.

Combining industrial energy efficiency and the philosophy of lean thinking can be made for many reasons in different ways. In order to determine and lean energy wastes, lean tools would be beneficial. Furthermore, some lean tools can be transformed to energy efficiency tools. Non-value adding energy usages, reducing energy due to work-in-processs, reducing over production and faulty production, organizing kaizens focused on energy efficiency and cellular energy usage would be typical examples for these efforts.

This thesis study suggests a framework to use value stream maps to detect non-value adding energy consumptions and using belief networks to establish future state energy-value stream maps. Study contributes to the energy efficiency research field by suggesting a solution for energy efficiency bottleneck handling.

The framework is constructed in three steps. In the first step, lean energy consumption analysis in the production company so that focus is given only on the energy consumption of value adding activities. In the second step, energy efficiency analysis is applied to design the current state energy-value-stream-map (E-VSM) focusing only on the energy related activities. In the last and third step, by the help of E-VSM, analysis by determining the factors or parameters for the Bayesian Networks are defined. Survey with experts would allow finding conditional probabilities for the bottlenecks. Bayesian Network will lead for developing different scenarios for constructing the future state E-VSMs.

A sample application is performed to demonstrate the three steps of the suggested framework. The case is a small-medium size enterprice (SME) producing shaped and covered chipboard. The enterprice produces table tops and stool parts. The production in the facility is performed by semi-automatic machines and the process is observed to be lean. Characteristics of the manufacturing workshop allow lean applications naturally. Production is run in a small area, the communication between work stations can be done by human voice and a simple pull system exists. There is an important waste in a critical point. The boards are thicker than required even though the size is standardized by the Turkish Standards Institute according to fragility. It makes products heavier and requires more drying and cooking times where energy is used intensively. Also the chopping process is performed in three steps although there exist a technology that does it in one step. In the enterprice, the serial production has just started and the machine setting and employee experience are to be improved.

In the E-VSM, it is observed that during the processes of chip drying and hot press non-value-adding energy usage (NVA-EU) exists. This parameter is chosen as the decision node of Bayesian Map. Thus, with the change of NVA-EU, the change of energy efficiency and the other parameters will be observed. Eight parameters are considered in expert interviews and a conditional probabilistic table is prepared. Bayesian Network is transferred to NETICA software to try scenarios. Developed Bayesian Network which is a simple one with a single parameter, non-value adding energy usage: NVA-EU. Changes in the current state E-VSM create the scenarios. With the change of NVA-EU, a serious amount of change in energy efficiency (EE) is observed in the software analysis. So, it seems reasonable for the enterprise to focus on non value adding energy usage.

To sum up, in this thesis study, a framework for using VSMs for energy efficiency improvements is proposed. In order to create future state E-VSMs, Bayesian networks are used. It is observed with a small sample application that the proposed framework is applicable and useful. Especially for the situations where there is not enough quantitative data, and using expert beliefs is inevitable, combining E-VSMs and Bayesian Networks is proven to be beneficial in order to determine improvement areas. SME's are commonly faced with this kind of situations and proposed framework is not difficult to be used. Yet, in order to construct detailed scenarios, more parameters are to be used in Bayesian Networks. These can be driven both from production and other energy related concepts like energy consumption and energy intensity.

In order to develop the proposed frame work, a numerical evaluation is obligatory. Further work will be done to measure the performance. It is only possible to minimize the energy usage after observing the performances. Inferences and benefits of Bayesian Nets will be more beneficial with the scenarios created in line with the performances.

1. GİRİŞ

Günümüzde hızla artan ve yakın gelecekte de artışını sürdüreceği öngörülen enerji talebinin karşılanmasına yönelik birçok tartışma sürdürülmektedir. Başta gelişmiş ülkeler olmak üzere diğer tüm ülkelerde hayata geçirilen yeni yatırımlar söz konusudur. Bu yatırımlar ülkelerin özkaynaklarına, ekonomik güçlerine ve teknolojilerinin gelişmişlik seviyelerine bağlı olarak güneş enerjisinden nükleer enerjiye, biyokütleden kayagazına kadar çeşitlilik gösterebilmektedir. Bu büyük ve sürekli talep artışı, özellikle gelişmekte olan ülkelerde politik, ekonomik ve çevresel sıkıntıları da beraberinde getirerek toplumsal tepkilere dönüşebilmektedir (Thollander ve diğ., 2007). Bu sorunlarla başa çıkabilmenin en etkin yöntemlerinden birisi enerji üretim ve kullanımında verimliliğin ve tasarrufun artırılmasıdır. Mevcut kaynakların etkin kullanımı için alınabilecek teknik ve sosyal birçok tedbir bulunmakta olup bunların bir kısmı küçük maliyetlerle karşılanabilecek niteliktedir. Bu sürecin gelişmesinde araştırma geliştirme çalışmaları ve toplumun bilinçlendirilmesi de önemli yer tutmaktadır. Enerjinin birçok farklı şekilde ve en yoğun olarak tüketildiği alanlardan biri olan imalat sektörü toplam enerji tüketiminde önemli bir paya sahiptir. Örneğin ülkemizde imalat sektörü, nihai enerji tüketiminde %36 ve toplam elektrik enerjisi tüketiminde ise %55'lik bir oranla başı çekmektedir (Url-1). Başta elektrik ve doğalgaz olmak üzere kömür, fuel oil, biyokütle ve kısıtlı miktarda güneş enerjisinin kullanıldığı üretim sektöründe başlıca tüketiciler olarak kazan, fırın, elektrik motoru, pompa, iklim şartlandırma ve aydınlatma sistemleri sayılabilir. Endüstri dalları arasında demir-çelik, çimento, cam ve seramik sektörleri enerji yoğunluğu açısından en ön sıralarda yer alırken; petrokimya, gıda ve tekstil sektörleri tarafından takip edilirler. UNIDO verilerine göre 2011 yılında dünyada endüstriyel enerji tüketimi 2.5 milyar TEP dolayındadır (Url-2). Ülkemizde ise, TC Enerji Bakanlığı'nın verilerine göre 2010 yılında sanayi sektörünün enerji tüketimi 30 milyon TEP seviyesindedir (Url-3). Tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de üretim sektörünün enerji talebi her geçen yıl artmakta ve bu talebi karşılamak için, genellikle fosil yakıtlara (kömür ve doğalgaz) ve kısıtlı sayıda da rüzgar ve güneş enerjisi kullanımına dayalı projeler geliştirilmektedir.

Toplam enerji tüketimi içerisinde önemli bir paya sahip olan imalat sektörü, aynı zamanda yüksek enerji tasarruf potansiyeline de sahiptir. Günümüzde endüstriyel enerji verimliliğinin ve tasarruf oranlarının artırılmasına yönelik olarak çok sayıda kampanya, teşvik programları ve araştırma çalışması sürdürülmektedir. Başta enerji yoğunluğu yüksek olan çimento, cam ve kâğıt gibi sektörler olmak üzere diğer tüm sektörlerde de kullanılan kazan, fırın, pompa ve elektrik motoru gibi tüketicilere yeni standartlar getirilmektedir (Abdulaziz ve diğ., 2010). Fakat tüm iyileştirme çalışmalarında olduğu gibi, endüstriyel tesislerde gerçekleştirilen enerji verimliliği artırma çalışmalarında da genellikle birden fazla noktada iyileştirme yapılması gündeme gelmekte ancak, işletmelerin tümünü aynı anda gerçekleştirebilmesi mümkün olamamaktadır (Bunse ve diğ., 2009). Bu duruma bağlı olarak ise, üretim sisteminin tamamını göz önünde bulunduran etkin bir enerji yönetimi ihtiyacı ortaya çıkmaktadır.

İmalat yönetiminde öne çıkan modern yaklaşımlardan birisi, ürünün tasarımından müşteriye sunulmasına kadar olan süreçte her türlü israfın önlenmesine odaklanan yalın düşüncedir (Womack ve Jones, 2003). İşletmedeki israfların tespit edilmesi ve giderilmesi için birçok yaklaşım ve araç sunan yalın düşünce, dünya genelinde başta otomobil, havacılık, sağlık, inşaat ve tekstil sektörleri olmak üzere birçok farklı sektörde uygulamalara rehberlik etmektedir.

Yalın düşüncenin, başta imalat olmak üzere diğer sektörlerde de kullanılabilecek nitelikteki en etkin araçlarından birisi değer akış haritalarıdır . Bir ürünün işletmede kat ettiği süreçlerin kâğıt kalem tekniği (veya bir yazılım ile) ile görselleştirildiği bu teknik, ürünün (veya hizmetin) üretilmesi sürecindeki israfların tespit edilmesini sağlamakla beraber, iyileştirme çalışması ile ulaşılmak istenen hedefleri göstermek için de kullanılır . Ayrıca üretim sürecinin tamamını görmeyi mümkün kıldığından, iyileştirmenin bütüne olan etkisinin gözlenmesini de sağlar (Womack ve Jones, 2003).

Enerji verimliliğini artırmak için alınan büyük önlemler genellikle yüksek maliyetlidir ve birden fazla sayıda olabilirler. Bu durum, her bir tercihin işletmeye bütüncül etkisinin belirlenerek bunlar arasında tercih yapılmasını beraberinde getirir. Bu noktada kullanılabilecek etkili araçlardan birisi Bayes Ağlarıdır (Pearl ve Russel, 2001). Belirsizlik ortamında karar verilmesini gerektiren durumlarda faydalı bir araç olan Bayes Ağları, uygulamalarda sıklıkla karşılaşılan sorunlardan birisi olan eksik

veri bulunması durumunda da etkin biçimde çalışan, işletmenin geriye dönük verileri ile personelinin bilgi birikimini kullanabilen ve senaryo geliştirmek için etkin bir araçtır (Charniak, 1991). Bu özellikleri sayesinde Bayes Ağları, gelecek durum enerji değer akış haritasının oluşturulmasında kullanılabilir.

Bu çalışma kapsamında öncelikle enerji verimliliği, yalın üretim, değer akış haritaları ve Bayes Ağları ile ilgili literatür taraması gerçekleştirilmiş; ardından (üçüncü bölümde) bu araçların bir arada kullanılmasını sağlayacak bir öneri geliştirilmiştir. Söz konusu akışın işlerliği, kaplı yonga levha imalatı yapan bir işletmede sınanmış ve bulgular dördüncü bölümde paylaşılmıştır. Tezin son bölümü olan sonuç ve öneriler kısmında, bu çalışma neticesinde elde edilen bulgular tartışıldığı gibi söz konusu metod önerisinin nasıl geliştirileceği konusunda da öneriler verilmiştir. Bu çalışma enerji verimliliği alanında akademik çalışmalara yeni bir açı kazandırdığı gibi, imalat sektörü yöneticilerinin vizyonuna da katkıda bulunacaktır.

2. LİTERATÜR TARAMASI

2.1 Enerji Verimliliği

Firmaları (ve devletleri) enerji tasarrufu yapmaya ve enerji verimliliğini artırmaya yönelten ana sebepler enerji fiyatlarındaki dalgalanmalar, serbest piyasalardaki yüksek rekabet ve verimlilik artırmaya yönelik genel ihtiyaçlardır. Verimlilik artırmaya yönelik çalışmalar genellikle beraberinde yatırımları da getirdiğinden ekonomik ve teknik analizlerin yapılması zorunlu hale gelmekte; özellikle büyük işletmeler için bu işlemler sürekli olarak yapılması ve takip edilmesi gereken görevler arasında yer almaktadır. Bu özelliği sebebiyle, enerji verimliliği artırma çalışmalarına işletme yönetiminin destek ve katkısı zorunludur. Buna paralel olarak işletmelerde oluşturulacak enerji yönetimi kadrosu ile, enerji muhasebe sisteminin oluşturulması, olası yatırımların belirlenmesi, gerçekçi yatırımların tespiti, gerekli kaynakların temini ve ilgili bilgilendirme ve eğitimlerin organizasyonu yapılmalıdır. Enerji verimliliği artırma projeleri genellikle iki gruba ayrılırlar: düşük maliyetli-kısa vadeli projeler ve yüksek maliyetli-uzun vadeli projeler. Her iki tür de önemli olup; ayrıntılı analiz ve planlama gerektirmektedir. Her iki tür projenin planlanıp uygulanma sürecinde işletmenin genel özellikleri (ürün çeşit ve özellikleri, kapasite kullanımı, hammadde özellikleri gibi) göz önünde bulundurulmalıdır.

Enerji verimliliği artırma projelerinin başarılı biçimde gerçekleşebilmesi için ön şart ise etkin bir enerji yönetim sisteminin zorunluluğu ve çalışanların bilgilendirilmesi ve eğitimi için de kaynak ayrılması gerekliliğidir (Abdülaziz ve diğ., 2010). Enerji verimliliği projelerinin değerlendirilmesinde bir diğer etken, firmanın ölçeği ve yaptığı üretimin enerji yoğunluğudur. Enerji yoğunluğu düşük olan firmalar, enerji tasarruf potansiyellerini belirlemek için, enerji tüketiminde en önemli belirleyiciler olan yıllık üretim miktarları ve dış hava sıcaklığı ile enerji faturaları üzerinden istatistiksel analizler ile yetinebilirler (Kissock ve Eger, 2007). Fakat, enerji yoğun imalat yapan (ve özellikle küçük ölçekli) firmalarda enerji, girdiler arasında en ön sıralara yerleşmektedir. Dolayısıyla enerji verimliliği, çevresel etkilerin azaltılması,

ekonomik gelişim ve sürdürülebilirliğin sağlanabilmesi açısından kritik öneme sahiptir (Nagesha, 2008).

Ülkelerin, endüstride enerji verimliliğini artırmaya yönelik politikaları, firmaların tasarruf sağlama başarısı üzerinde oldukça etkilidir. Ülkelerin enerji verimliliği programlarını başarılı biçimde uygulayarak, enerji verimliliği ile tasarruf edilen harcamaların, yatırımlar için harcanılan paralardan daha fazla olmasını sağlamada devlet kuruluşları ve danışmanlık firmalarının rolü oldukça belirleyicidir. Küçük ve Orta Boy İşletmelerde (KOBİ) (özellikle küçük işletmelerde) enerji verimliliği politikalarının başarı sağlayabildiği fakat firmaların öncelikleri arasına giremediği için başarı oranının artırılmadığı tespit edilmiş; bu yönde ilerleme kaydedebilmenin de yine devlet politikaları ve teşvikleri ile mümkün olabileceği belirtilmiştir. Ayrıca, enerji verimliliği çalışmalarının enerji tüketimine dair değerlendirmeler kadar çevresel etkilerinin de göz önünde bulundurulması gerektiği bilinmektedir (Thollander ve diğ., 2007).

Enerji üretimi ve kullanımı ile ilgili verimlilik çalışmaları, yaşanan enerji krizlerinin ardından ivmelenecek artmıştır. Başta gelişmiş ülkeler olmak üzere tüm dünyada birçok proje gerçekleştirilmiş, geniş çaplı programlar uygulanmış ve azımsanamayacak miktarlarda tasarruf sağlanmıştır. Fakat tasarruf miktarının, potansiyelin çok altında olduğu bir çok kaynakta vurgulanmaktadır (Url-2). Enerji verimliliği artırma çalışmalarında istenilen başarıların sağlanamamasının sebebi olarak, bilimsel araştırmalar ve endüstriyel uygulamaların tam olarak örtüşmüyor olması görülmektedir. Akademik çalışmaların imalat firmalarının güncel taleplerine karşılık vermede geç ve yetersiz kaldıkları da iddia edilmektedir (Bunse ve diğ., 2009). Bu sorunların giderilebilmesi için daha etkin ve dinamik mevcut makro programların geliştirilmesi ve üniversite-sanayi etkileşiminin artırılması gerekmektedir.

2.1.1 Endüstride enerji verimliliğini artırıcı genel önlemler

27 Ekim 2011 tarih ve 28097 sayılı resmi gazetede, Enerji Bakanlığınca yayınlanan “Enerji Kaynaklarının ve Enerjinin Kullanımında Verimliliğin Artırılmasına Dair Yönetmelik” uyarınca, ülkemizdeki endüstriyel işletmelerde enerji verimliliği artırmaya yönelik öncelikli teknik önlemler şu şekilde belirlenmiştir (Url-4):

- Yakma sistemlerinde yanma kontrolü ve optimizasyonu ile yakıtların verimli yakılması,
- Isıtma, soğutma, iklimlendirme ve ısı transferinde en yüksek verimin elde edilmesi,
- Sıcak ve soğuk yüzeylerde ısı yalıtımının standartlara uygun olarak yapılması, ısı üreten, dağıtan ve kullanan tüm ünitelerin yalıtılarak istenmeyen ısı kayıplarının veya kazançlarının en aza indirilmesi,
- Atık ısı geri kazanımı,
- Isının işe dönüştürülmesinde verimliliğin artırılması,
- Elektrik tüketiminde kayıpların önlenmesi,
- Elektrik enerjisinin mekanik enerjiye veya ısıya dönüşümünde verimliliğin artırılması,
- Otomatik kontrol uygulamaları ile insan faktörünün en aza indirilmesi,
- Kesintisiz enerji arzı sağlayacak girdilerin seçimine dikkat edilmesi,
- Makinaların enerji verimliliği yüksek olan teknolojiler arasından, standardizasyon ve kalite güvenlik sisteminin gereklerine dikkat edilerek seçilmesi,
- İstenmeyen ısı kayıpları veya ısı kazançları en alt düzeyde olacak şekilde projelendirilmesi ve uygulamanın projeye uygun olarak gerçekleştirilmesinin sağlanması,
- İnşa ve montaj aşamasında enerji verimliliği ile ilgili ölçüm cihazlarının temin ve monte edilmesi,
- Yenilenebilir enerji, ısı pompası ve kojenerasyon uygulamalarının analiz edilmesi,
- Aydınlatmada yüksek verimli armatür ve lambaların, elektronik balastların, aydınlatma kontrol sistemlerinin kullanılması ve gün ışığından daha fazla yararlanılması,
- Enerji tüketen veya dönüştüren ekipmanlar için ilgili mevzuat kapsamında tanımlanan asgari verimlilik kriterlerinin sağlanması,
- Camlamada düşük yayınlı ısı kontrol kaplamalı çift cam sistemlerinin kullanılması

Yaygın olarak kullanılan teknikler arasında en etkili önlemlerin, değişken hız sürücülerinin kullanılması, atık ısı geri kazanım sistemlerinin kullanılması, yüksek verimli motorların tercih edilmesi, kompresör kaçaklarının önlenmesi ve basınç düşüşlerine bağlı kayıpların önlenmesi olduğu; dünya genelinde başarı ile sonuçlanan

projelerde bu tedbirlerin öne çıktığı tespit edilmiştir (Abdülaziz ve diğ., 2010). Günümüzde imalat işletmelerinde gerçekleştirilen enerji verimliliği çalışmalarında öne çıkan alanlar elektrik sistemleri, ısı sistemler ve basınçlı hava sistemleridir. Bu alanlardaki verimlilik artırıcı tedbirler aşağıda ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

2.1.2 Elektrik Sistemleri

İmalat proseslerinde, motor tahriki ile hareketin sağlanması, ısıtma ve aydınlatma gibi birçok etkinliğin yerine getirilmesinde enerji kaynağı olarak elektrik kullanılır. Enerji verimliliği çalışmalarında elektrik motorlarının verimliliği ve kontrolü, kompanzasyon sistemleri ve harmoniklerin önlenmesi öne çıkan konulardır.

Elektrik motorları en genel tanımlamayla elektrik enerjisini mekanik enerjiye dönüştüren aygıtlara denir. Elektrik motorları başta pompalar, fanlar, kompresörler, değirmenler, presler gibi pek çok proseste tahrik sistemi olarak kullanılırlar. Elektrik motor sistemlerinde enerjiyi verimli kullanmak için yapılan uygulamalar; enerji tüketiminin ölçü ve kontrolü, yüksek verimli motor kullanımı, değişken hız sürücüsü tercihi ve enerji yönetimi olmak üzere dört temel adımı kapsamaktadır. Elektrik motorlarında verimliliği etkileyen en önemli parametre mekanik ve ısı kayıplardır. Bu kayıpların minimuma indirilmesi ile yüksek verimli motorlar elde edilir. Bir sistemin verimliliği için sadece yüksek verimli elektrik motoru kullanmak yeterli değildir; aynı zamanda uygun güçte elektrik motoru seçimi ve motoru en yüksek verim bölgesinde çalıştırmak da gereklidir. Bununla birlikte motorun değişken yüklerle göre hız kontrol cihazıyla uygun devir sayısında ve en yüksek verim bölgesinde çalıştırılması da sistem verimliliği açısından gereklidir. Bu yüzden motor hız kontrolü için değişken hızlı sürücüler kullanılmaktadır ve %50'ye kadar enerji tasarrufu sağlayabildikleri görülmüştür. Elektrik motorlarında motor şaftına bağlanan güç aktarma elemanlarının (kayış, kasnak, kaplin gibi) doğru seçimi ve bakımı verimliliği doğrudan etkiler (Karakoç, 2011).

Reaktif enerjinin istenen yerde ve istenen miktarda üretilmesi suretiyle elektrikli cihazların şebekeden çektiği reaktif gücün azaltılmasına reaktif güç kompanzasyonu denir. Bu sayede, reaktif enerjisizleştirilerek elektrik sistemi elemanları fazla yüklenmeden korunurlar ve böylece gerilim düşümleri ve kayıplar azalırken sistem elemanlarının ömrü artar ve maliyetleri düşer. Kompanzasyondan en büyük faydayı sağlamak amacıyla tesis yerinin ve bağlama şeklinin amaca en uygun şekilde

yapılması gerekir. Kompanzasyon tesisleri, ihtiyaca ve yüklerin durumuna göre belirlenerek her bir yükte bireysel olarak, benzer yükleri gruplayarak veya tesisin genelinde uygulanan merkezi kompanzasyon olmak üzere üç farklı şekilde oluşturulmaktadır (Kaypmaz ve Engin, 2009).

İşletmelerde görülen dengesiz yüklemeler ve harmonikler enerji verimliliği konusunda incelenebilecek önemli konulardandır. Elektrik Piyasası Dağıtım Yönetmeliği'nde harmoniklerin tanımı şu şekilde verilmektedir: Doğrusal olmayan yükler veya gerilim dalga şekli ideal olmayan jeneratörlerden dolayı bozulmaya uğramış bir alternatif akım veya gerilimde ana bileşen frekansının tam katları frekanslarda oluşan sinüzoidal bileşenlerin her biridir (Url-5). Sistemde var olan harmonikler toplamda çekilen akımı arttırarak bakır kayıplarının artmasına, trafo ve motorlarda kayıplara, normal Buholmayan sistem açmalarına ve kondansatör grupları ile besleme hattı arasında rezonansa neden olabilirler. Harmonikler için uygun filtreleme yöntemi (aktif filtre veya pasif filtre) seçilerek etkilerinin azaltılması, artan güç elektroniği tabanlı donanımların negatif etkilerinin azaltılması için önem arz etmektedir (Meral ve diğ., 2009).

2.1.3 Isıl Sistemler

İmalat işletmelerinde çok yaygın olarak kullanılan ve enerji tüketiminin önemli bir kısmının gerçekleştiği ısı sistemler, enerji verimliliği açısından da önemli noktalardır. Isıl sistemleri kazanlar, fırınlar ve buhar sistemleri olmak üzere üç ana başlık altında inceleyebiliriz.

2.1.3.1 Kazanlarda enerji verimliliği

Kazanlarda enerji verimliliği, yanmanın mükemmelliğine ve yanma sonucu açığa çıkan ısı enerjisinin kazan içindeki akışkana transfer oranına, baca gazı emisyonları ise yine yanmanın kalitesine, ocak ve brülör tasarımına, ayrıca kullanılan yakıt içerisindeki kirleticilere bağlı olmaktadır. Bu nedenle, işletme döneminde, kazanlarda termik verimin sürekli olarak yüksek tutulabilmesi ve emisyonların kontrol edilebilmesi için baca gazı analizörleri yardımıyla, baca gazı bileşenlerinin sürekli veya periyodik olarak izlenmesi ve yanmaya etki eden parametrelere zamanında müdahale edilmesi, ayrıca brülörlerin duruş zamanlarında kazanların neden olduğu iç soğuma kayıplarının minimize edilmesi önemli olmaktadır. Yakıt tüketiminin büyük değerlere ulaştığı büyük kapasiteli kazanlarda, verimin kontrolü

daha büyük önem arz etmekte ve bu iş için tam otomatik mikro modülasyonlu yakma yönetim ve oksijen kontrol sistemleri geliştirilmiş bulunmaktadır. Sözkonusu sistem ile baca analizleri sürekli ve otomatik olarak yapılmakta, O₂, CO₂, CO oranları ve baca gazı sıcaklığı gibi baca gazı parametreleri ile yanma verimi sürekli izlenmekte, yakıt karakterinde ve atmosferik şartlarda olabilecek değişikliklerin önceden ayarlanmış parametrelere etkisi sistemin yakıt/hava ayarına otomatik müdahalesi ile önlenilmekte, gerektiğinde frekans konvertörlü brülör fanları ile eşgüdümlü çalışarak fan enerji tüketiminden tasarruf sağlanmakta, hassas ve oransal kontrol ile tam yanma sonucu sistem verimi yükseltilmekte ve yakıt tasarrufu sağlanmakta, ayrıca, sistem otomatik kalibrasyon ve hata tespitine imkan vermekte ve bina otomasyon sistemlerine de entegre edilebilmektedir (Bilgin, 2006).

Kazan verimliliğini artırmak için, yanma verimini artırmanın yanısıra yapılabilecek iyileştirmeler aşağıda sıralanmıştır (Karakoç, 2011).

- Baca gazı sıcaklığının yüksek olduğu sistemlerde kazan veya brülör sistemi mutlaka kontrol edilmeli, kapasite kontrolü veya kazan borularına türbülötörler ilave edilmek suretiyle, baca gazı sıcaklığı düşürülmelidir.
- Yoğuşmalı doğalgaz kazanlarında, entegre yoğuşturucuda, baca gazlarında bulunan su buharının yoğuşması sağlanarak, sistem dönüş suyu sıcaklığı yükseltip baca gazı sıcaklıkları baca gazı çığlenme sıcaklığı olan 55 °C'ye kadar düşürülebilir.
- Sanayi uygulamalarında, brülör kapasiteleri ve baca kesitleri gereğinden büyük seçilmemelidir. Ayrıca yanma odası ve brülör uyumuna özen gösterilmelidir.
- Özellikle katı yakıt kullanan sistemlerde değişken sıcaklık değerleri nedeniyle ekonomizör kullanılması zordur. Sıvı veya doğal gazlı sistemlerin baca çıkışına ekonomizör ilave ederek doğal gazın baca gazı sıcaklığı 55-60°C'ye kadar indirilebilir. Bu ısı ile proses, sıcak suyu yada kullanma sıcak suyu için sıcak su üretimi yapılabilir ya da bu baca gazı atık ısı bina ısıtmasında kullanılabilir.

2.1.3.2 Fırınlarda enerji verimliliği

Fırınlarda enerji verimliliğinin temel etkenleri olarak tasarım, konstrüksiyon, işletme ve bakım parametreleri öne çıkmaktadır. Her bir proses için öncelikle enerji verimliliği, bakım ve işletme faaliyetlerinin değerlendirilmesi ile başlar. Bununla birlikte otomasyonun modernizasyonu, yakıt hava kontrollerinin optimum noktalara taşınması, ısı geri kazanımı ile dolaylı tasarruf imkanının yaratılması, yalıtım

özelliklerinin sorgulanması ve iyileştirilmesi verimliliğin geliştirilmesinde etkili olan diğer parametrelerdir (Karakoç, 2011).

Bir fırın için tasarım kapasitesi, enerji verimliliğini önemli bir şekilde etkilemektedir. Özellikle üretim talebinin üzerinde seçilmiş fırınlarda, işletme maliyetlerinin üretim üzerindeki etkileri oldukça yüksek olacaktır. Bunun nedeni fırın kapasitesi dikkate alındığında fırının çalıştırılması için gerekli enerji miktarı, ürünün ihtiyacından fazla olacaktır. Isı akışının önemli olduğu fırınlarda yapısal tasarım dikkate alınması gereken bir etkidir. Fırın içinde ısının ürüne transferinde, meydana gelen radyasyonun maksimum transferi, ısının fırın içinde homojen olarak sirkülasyonu ile sağlanır. Bunun için fırına brülörlerin yerleştirilme şekli veya katı yakıtın beslenmesi fırın içinde ısı dağılımını etkiler. Yanma ürünlerinin fırın içindeki dolaşımı ve bacadan atıldığı noktadaki sıcaklıklar dikkat edilmesi gereken noktalardandır (Karakoç, 2011).

2.1.3.3 Buhar sistemlerinde enerji verimliliği

Buharın imalat işlemlerinde ve ısıtma sistemlerinde kullanımında, faydalı enerjiye dönüştürülebilen enerji oranı ciddi ölçüde sınırlıdır. Bu sınırlamaya sebep olan verimsizlik veya kayıp unsurlarının başında bacadan sıcak duman gazlarıyla atılan enerji ve kondensle kaybedilen enerji başı çekmektedir. Baca gazı sıcaklığının düşürülmesi ve ekonomizerlerin kullanımı ile bu verimsizlik veya kayıp unsurlarının önüne geçilebilir. Buhar sistemlerinde enerji verimliliğini artırmak için uygulanabilecek diğer tasarruf ve geri kazanım önlemleri şunlardır (Küçükçalı, 2002):

- Blöften ısı geri kazanımı sağlanması
- Buhar borularının, vanalarının ve kolektörlerinin yalıtılması
- Kondensatör kaçaklarının ve buhar hatlarındaki kaçakların önlenmesi
- Brülör cinsinin doğru seçilmesi,
- Brülör ayarlarının doğru ve bakımlarının zamanında yapılması
- Isı geçiş yüzeylerinin temiz tutulması
- Kazan kapasitesinin doğru belirlenmesi
- Kazan işletme basıncının doğru belirlenmesi
- Besi pompalarının doğru büyüklükte seçilmesi
- Tortu ayırıcıların kullanılması

- Buhar kazanlarının içinde damla tutucu (separatör) kullanılması

2.1.4 Kompresör kaçaklarının ve basınç düşüşlerinin önlenmesi

Yapılacak iyileştirme çalışmalarıyla önemli enerji tasarrufu sağlanabilecek alanlardan bir diğeri de basınçlı hava sistemleridir. Basınçlı hava sistemlerindeki yetersiz tesisat ve kontrollü bakım yapılmamasına bağlı enerji kaybı, kompresörün harcadığı enerjinin %50'sine varabilmekte ve basit işletme tedbirleri ile bunun yarısının önlenmesi mümkün olabilmektedir. Basınçlı hava sistemlerindeki potansiyel enerji tasarrufunun önemi, bütün sanayi tesislerinde kompresör bulunduğu ve bunların arızalanmasının üretimi durdurabildiği veya yavaşlatabildiği düşünüldüğünde de ortaya çıkmaktadır (Meral ve diğ., 2009).

2.2 Yalın Üretim ve Değer Akış Haritaların

2.2.1 Yalın üretim kavramı

Yalın düşünce kavramı Toyota Üretim Sistemi üzerinden geliştirilmiş olup; değer yaratan etkinlikler ve adımlar ile değer katmayanların birbirinden ayrılmasını ve israfların önlenmesini sağlayarak, süreçteki her adımın değer üretmesini hedefleyen bir kavramdır (Womack ve Jones, 2003). Yalın üretim verimliliğe odaklanarak, ürünlerin en düşük maliyet ve en yüksek hız ile üretilmelerini sağlamaya çalışır ve bunu gerçekleştirirken tüm çalışanların tecrübelerinden faydalanmayı hedefler. Yalın düşünce, imalat ortamında geliştirilen bir yöntem olmakla beraber imalat dışı sektörlerde de uygulanabilir (Antony,2011).

Yalın üretim sistemi, İkinci Dünya Savaşı sonrasında Toyota Üretim Sistemi içerisinde doğmuş ve Tam Zamanında Üretim (Just-In-Time) kavramı dahilinde gelişimini sürdürmüştür. Zaman içerisinde, küçük hacimler halinde üretim, kurulum zamanının azaltılması, çekme sistemi, Kanban sistemi gibi kavramlar geliştirilmiş ve dinamik doğası gereği sürekli ve bitmeyen gelişimini sürdürmektedir. Günümüzde “yalınlık” kavramı, yeni geliştirilen imalat sistemleri için önemli bir sına parametresi haline gelmiştir. Günümüzde yalın üretim tam zamanında üretim, kalite sistemleri, takım çalışması, hücreli üretim, tedarik zinciri yönetimi gibi yönetsel araçları bir arada kullanan çok boyutlu bir yaklaşım konumundadır (Shah ve Ward, 2002). Yalın İşletme Modeli, sadece üretim sahasında sınırlı kalmayıp, tedarik zinciri yönetimi, muhasebe (faaliyet tabanlı maliyetlendirme), müşteri ilişkileri, satış-

pazarlama stratejilerini de yalın ilkelere uygun biçimde dönüştürerek, etki alanını genişletmiştir. Bu sayede yalın işletmeler, küreselleşen dünyada kızışan rekabet için önemli avantajlar elde edebilmişlerdir (Papadopoulou ve Özbayrak, 2004). Yalın üretimin temel değerleri ve kilit yaklaşım noktaları şu şekilde sıralanabilir: esneklik, hataların ortadan kaldırılması veya oluşmadan engellenmesi, optimizasyon, süreç kontrolü ve iş gücünün etkin kullanımı (James-Moore ve Gibbons, 1997).

Yalın üretim, talep tarafından yönlendirilen ve küçük miktarda stok tutan üretim ortamı oluşturmakta ve tedarik zinciri boyunca israfı ortadan kaldırırken, stokları azaltmakta ve değeri artırmaktadır. Yalın üretim aynı zamanda işyeri organizasyonu ve yönetimi, çabuk değişme ve kaliteli ürünleri de dikkate almaktadır. Tüm bu faydaları yalın kavramını rekabetçi bir ortam için çekici kılmaktadır. Dolayısıyla, geleneksel kitle üretim düşüncesinden yalın düşünceye değişim, işletmelerin işlemlerinin kontrolü, ölçümü ve nedenini açıklama yollarında değişiklik gerektirmektedir (Özçelik ve Ertürk, 2010).

Yalın üretimin temel özellikleri şöyle sıralanabilir (Türkan, 2010):

- Her aşamada israfı yok etmeyi amaçlar, bu doğrultuda bütün üretim faktörlerinden daha az talep eder.
- Tam zamanında üretim doğrultusunda çekme esasına dayalı stoksuz üretimi öngörür.
- Tedarikçilerle ilişkiler sistemin en önemli dayanaklarındandır.
- İç ve dış müşteri beklentilerini esas alır.
- Üretim ve ürün esnekliğine sahiptir.
- Her süreçte sürekli gelişmeyi ve kalitenin üretilmesini hedefler.
- Basık yapıda, insan odaklı bir örgütlenme anlayışı ile yönetilir.
- İletişime ve katılıma dayalıdır.
- Çok fonksiyonlu işçilerle gerçekleştirilen disiplinli ekip çalışmaları vardır.

2.2.1.1 Yalın üretimde israf kavramı

Yalın düşünce kavramının anlaşılması sürecinde en önemli kavramlardan birisi israftır (muda). İsraf, fayda sağlamayan tüm etkinlikler için geçerli bir nitelemedir. Yalın düşüncenin hedef aldığı temel israf kaynakları aşağıda tanımlanmıştır (Kilpatrick, 2003):

- Fazla Üretim: Müşteri talebinden fazla miktarda üretim yapılmasıdır. Müşteri talebi oluşmadan gerçekleştirilen tüm bitmiş ürünler, güvenlik stokları, yarı mamül stokları gibi üretimler, kullanılabilir kısıtlı kaynakları tüketir.
- Bekleme: Malzeme, bilgi, ekipman, araç vb. kaynaklar için gerçekleştirilen tüm beklemler birer israftır.
- Nakliye: Malzemelerin doğrudan kullanılmayıp depolarda bekletilmesi gereksiz taşıma işlemleri yarattığı için israfa sebep olur.
- Değer Üretmeyen İşlemler: Yeniden işleme, düzelme ve muayene gibi işlemler ürünün niteliğine katkı sağlamadığı için zaman ve kaynak israfı yaratır.
- Fazla Stok: Fazla üretime bağlı olarak oluşan stok miktarları, özellikle nakit akışı ve mekân kullanımı açısından sorunlar yaratan israflardır.
- Hatalı üretim ve servis işlemleri doğrudan kaynak israfı yaratır.
- Fazla Hareketlilik: Çalışma ortamının düzensizliği ve yanlış çalışma biçimleri sebebiyle oluşan fazla hareketlilik, verimlilikte önemli bir düşüşe sebep olarak israf yaratır.
- İnsan Kaynaklarından Faydalanılmaması: İnsanların zihinsel becerileri, yaratıcılıkları ve fiziksel becerilerinden yeterince faydalanılmamasıdır.

2.2.1.2 Yalın üretimin temel ilkeleri

Yalın düşünce, üretim sürecinin bütününde israfların önlenmesi ve akış sağlanmasına odaklanan beş temel ilke üzerine kuruludur. Bunlardan ilki “değer” kavramıdır. Değer ancak son müşteri tarafından tanımlanabilir ve ancak belli bir zamanda belli bir fiyatta müşteri ihtiyaçlarını karşılayan belli bir ürün cinsinden ifade edildiğinde anlam taşır. Bu ilkenin ardında yatan düşünce, yanlış mal veya hizmetin doğru biçimde sunulmasının da bir tür israf olduğudur. O halde yalın düşünce, somut müşterilerle diyalog yoluyla somut fiyatlardan sunulan somut yetenekler içeren somut ürünler cinsinden değeri tam olarak tanımlamak için yapılan bilinçli bir deneme ile başlamalıdır. Bunu yapmanın yolu, var olan varlıkları ve teknolojileri yok sayıp şirketleri güçlü, odaklanmış ekipleri olan ürün hatları bazında yeni baştan düşünmekten geçer. Yalın düşünce, aynı zamanda, şirketin teknik uzmanlarının rolünü yeniden tanımlamayı ve sadece değerini nerede yaratılacağını yeniden düşünmeyi gerektirir. Tüm değişimler hemen uygulanamaz ama neyin gerekli olduğunun açık bir resmini oluşturur (Womack ve Jones, 2003).

İkinci ilke olan değer akışı, belli bir ürünü elde etmek için gerekli olan somut eylemler dizisi olup, her işletmede bulunan üç kritik yönetim fonksiyonu aracılığıyla

başarılır: 1) kavramdan başlayarak ayrıntılı tasarım ve mühendislikten geçerek ürünün piyasaya çıkmasına kadar olan süreçteki sorun çözme görevi, 2) sipariş almadan başlayarak ayrıntılı programlama yoluyla teslimata kadar olan süreçteki bilgi yönetimi görevi ve 3) ham maddeden başlayarak ürünün tamamlanıp müşterinin eline geçmesine kadar olan süreçteki fiziksel dönüştürme görevi. Her ürün için (bazı hallerde her ürün grubu için) tüm değer akışını belirlemek, yalın düşüncede (değerin tanımlanmasından sonraki) bir sonraki adımdır (Womack ve Jones, 2003).

Üçüncü ilke, israfların elenmesinden sonra elde kalan, değer yaratan adımların akışının sağlanmasıdır. Bunun için yalın düşünce, değer yaratılmasına olumlu katkı sağlamak üzere fonksiyonların, bölümlerin ve firmaların işini yeniden tanımlamak ve değer akışını olanaklı kılmamanın gerçekte kendi çıkarlarına olduğu anlayışını yerleştirmek için akış boyunca her noktada çalışanların gerçek ihtiyaçlarına odaklanmaktır. O halde her bir ürün için sadece yalın işletmenin yaratılmasını değil, aynı zamanda alışılmış firma, fonksiyon ve kariyerlerin yeniden düşünülmesini ve yalın bir strateji geliştirilmesi zorunludur (Womack ve Jones, 2003). Akış kavramının anlaşılabilmesi, müşteriye değer ulaştırılmasını sağlayan olay ve etkinlikleri birbirine bağlayan *değer akışı* kavramı anlaşılmalıdır. Değer akışı, işlevleri ve hatta çoğu kez işletmenin sınırlarını aşan bir yapıya sahiptir (Melton, 2005). Akışın sağlanabilmesi için atılacak en önemli adım, büyük yığınlar halinde çalışarak iş istasyonları önünde kuyruk ve stokların oluşmasının önlenmesidir (Dahlgaard ve Dahlgaard-Park, 2006).

Dördüncü ilke “çekme”dir ve akışın yukarı tarafının, aşağı tarafta bulunan müşteriden istek gelmeden bir mal veya hizmet üretmemesidir. Bölümler ve partilerden ürün ekiplerine ve ürün akışına geçmenin ilk görünür etkisi; kavramdan pazara çıkışa, satıştan teslimata ve ham maddeden müşteriye ulaşmak için gereken sürenin çarpıcı oranda düşmesidir. Dahası yalın sistemler mevcut üretimde olan herhangi bir ürünü istenilen bileşimde yapabilir, böylece değişen talebe hemen cevap verebilir. Dolayısıyla, ürünü müşteriye itmek yerine müşterinin ürünü ihtiyaç duydukça çekmesini mümkün kılacak bir sistem kurulmuştur (Womack ve Jones, 2003).

Bu dört ilkenin sürekli olarak uygulanması ise sonuncu ilke olan “mükemmellik”tir. Bu beşinci ilke, organizasyonlar değeri doğru biçimde tanımlar, tüm değer akışını belirler, belli ürünler için değer yaratan adımların kesintisiz akışını başarır ve

müşterilerin işletmeden değer çekmesini sağlar hale geldikçe kendini hissettirir. Müşterilere istediklerine hiç olmadığı kadar yakın bir ürün sunarken çaba, zaman, yer, maliyet ve hata azaltma sürecinin sonu olmadığı ortaya çıkar ve mükemmellik anlayışının mümkün olduğu fark edilir (Womack ve Jones, 2003). İşletmelerde bu kültürün yerleştirilmesi oldukça zordur ve işletmelerin yalın sürdürülebilirliği yakalayabilmeleri için zaman ve çaba harcamaları gerekir (Melton, 2006).

Yukarıda özetlenen beş ilke, aynı zamanda zanaat üretiminin özellikleridir. Yalın düşünce, zanaat tipi üretimi kitle üretimi ile birleştiren bir üretim felsefesidir. Zanaat tipi üretim merkezine müşteri ve ihtiyaçlarını yerleştirir ve sipariş alınana kadar bir üretim gerçekleştirilmez. Sipariş alındığında ise, atölyenin tüm çalışanları hep birlikte müşterinin ihtiyacının karşılanması için çalışır. İsrafin, müşteri, işletme sahibi ve çalışanlar açısından doğuracağı tüm sonuçlar herkes tarafından bilinir. Çalışanlar yaptıkları işin amacını bilirler ve atölyenin sahip olduğu zanaat ilkelerine uygun üretim yapmaktan gurur duyarlar. Zanaat üretiminin bu tür olumlu yönleri, kitle üretimine geçişle ortaya çıkan büyük görünmez israflar sebebiyle ortadan kaybolmuştur ve bunun en büyük sebebi işgücünü oluşturan milyonlarca insanın beyin gücünden faydalanılamamasıdır (Dahlgaard ve Dahlgaard-Park, 2006)

2.2.1.3 Yalın üretimin temel araçları

Yalın düşüncenin uygulanmasında sıklıkla faydalanılan kavramlar ve araçlar şunlardır:

- *Çekme Sistemi:* Sadece müşteri talebi olan ürünlerin, müşteri talep ettiği anda üretilmesidir (Haque ve James-moore, 2004).
- *Kanban:* Tüketicinin istediği ürünün bileşenlerinin tam zamanında üretim (JIT) sistemi içerisinde akmasını sağlayan görsel işaret sistemidir.(Abdulmalek ve Rajgopal, 2006).
- *Hücre Üretim:* Belirli bir ürün (ve/veya benzerleri) için tasarlanan bir prosesin gerçekleştirilebilmesi için gerekli makina, ekipman ve çalışanların bir iş “hücre”sinde bir araya getirilmesidir. Hücre içerisindeki tüm kaynaklar, çalışanların kolayca ulaşabileceği ve işleyebileceği şekilde düzenlenmiştir (Womack ve Jones, 2003).
- *Standart iş:* bir faaliyetin yerine getirilmesi için gerekli çevrim süresi, takt zamanı, iş sırası ve elde bulundurulması gereken minimum parça stokunu belirleyen ayrıntılı iş tanımlamasıdır (Womack ve Jones, 2003). Standart iş tanımı bir işi kimin, ne zaman ve nasıl yapacağını belirtir (Pavnaskar ve diğ., 2003).

- *Tek Parça Akışı*: Bir ürünü oluşturan parçaların üretildikleri proses içerisindeki işlemler arasında stoklanmadan tek parça yada küçük adetler halinde akışının sağlanmasıdır (Haque ve James-moore, 2004).
- *Kaizen*: Bir işlemin verimliliğini artırmak üzere çalışan disiplini, yüksek moral, kalite çevrimlerinin kontrolü ve tavsiye paylaşımının takım halinde sağlanmasıdır (Gurumurthy ve Kodali, 2011).
- *Poke Yoke*: Proseslerin, çalışanların hata yapmasını önleyecek şekilde yeniden düzenlenmesidir (Womack ve Jones, 2003).
- *5S*: Çalışma ortamının görsel düzen ve temizliğin sağlanması olup; Japonca ayıklama (Seiri), düzen (Seiton), temizlik (Seiso), standartlaştırma (Seiketsu), disiplin (Shitsuke) kelimelerinin baş harflerinden oluşturulmuştur (Abdulmalek ve Rajgopal, 2006).
- *Görsel Kontrol*: Bir iş sürecinin yönetimini ve performans ölçümünü sağlayan görsel teknik ve araçların kullanılmasıdır (Gurumurthy ve Kodali, 2011).
- *Kurulum Sürelerinin Düşürülmesi*: Model değiştirme esnasında kalıp değiştirme ve makine ayarlama sürelerinin düşürülmesi (Haque ve James-moore, 2004).
- *Bakım Sürelerinin Düşürülmesi*: Planlanmış düzenli bakım işlemlerinin küçük operasyonlar halinde ve fakat sık sık yapılması (Abdulmalek ve Rajgopal, 2006).
- *Takt Süresi*: Firmanın, bir ürününe olan müşteri talebini karşılayabilecek üretim hızıdır. Bir günlük çalışma süresini, gün başına ürün talebine bölerek bulunur (Singh ve Sharma, 2009).
- *Sürekli İyileştirme*: İş ortamının ve çalışma sisteminin sürekli olarak iyileştirilerek proseslerin mükemmelleştirilmesidir (Pavnaskar ve diğ., 2003).

Sonuç olarak yalın düşüncüyü harekete geçirerek hem çalışanların hem de müşterilerin memnuniyetini sağlamak isteyen firmaların yerine getirmesi gerekenler şu şekilde sıralanabilir: problemlerin tam olarak çözülmesi, zamanın israf edilmemesi, tam olarak istenilen şeylerin sağlanması, değer istenilen yerde ve zamanda sağlanması, sadece var olan seçeneklerle yetinilmeyip gerçekten istenilenlerin sağlanması, ve tüm problemlerin kalıcı olarak çözülmesi (Womack ve Jones, 2010).

2.2.1.4 İşletmelerde yalın üretime geçiş süreci

İşletmelerin yalın düşünce ilkelerinden hareketle israfları önlemeleri ve üretim süreçlerini yalınlaştırmaları, bir dizi aracın kullanılmasından daha fazlasını gerektiren bir durumdur. Öncelikle, sürece dahil kişilerin bakış açılarının değişmesi

ve dönüşüm sürecinin üst yönetim tarafından desteklenmesi gerekir. İşletmelerin üretim yönetimi yanısıra, insan kaynakları yönetimi ve muhasebe yönetimi alanlarında da değişiklikler yapmaları gereklidir. Kısacası, yalın dönüşüm, işletme kültüründe de değişimi zorunlu kılar (Bhasin ve Burcher, 2006).

Yalın dönüşümü gerçekleştirmeyi hedefleyen işletmeler, ilk evrede üretim organizasyonlarını yalınlaştırarak yeniden yapılandırmalıdır. Burada öncelikle mevcut durumun tespiti yapılır ve çalışanlara yalın üretimin temelleri eğitimler yoluyla öğretilir. Süreçleri israftan arındıracak değer analizleri yapılarak değer akış haritasını oluşturmak da bu evrenin amaçlarındandır. İkinci evrede yalın dönüşüm bütün işletmeye yayılarak işletmenin yönetim ve organizasyon biçimi yalınlaştırılır. Ekip çalışmaları üzerinde önemle durulur ve çalışanların katılımıyla süreç geliştirme faaliyetleri gerçekleştirilir. Bu aşamada Kaizen, 5S, kurulum sürelerinin kısaltılması, Toplam Verimli Bakım gibi çeşitli yalın araçlardan ve toplam kalite yönetiminin sorun belirleme ve çözme tekniklerinden faydalanılır. Üçüncü evre, ilk iki evrede elde edilen kazanımların korunmasını ve gelişimin sürekli hale getirilmesini içerir. Bu evrede personelin eğitim ihtiyaçları belirlenerek periyodik eğitimler düzenlenir ve yeni bir işletme kültürünü yaratacak değişimler sonuçlandırılır. Dördüncü ve son evre ise yalın dönüşümün yalın değer zincirini tamamladığı anı ifade eder. Yalın düşüncenin işletmedeki bütün süreçlerde benimsenmesi ve paydaşların yaşam felsefesi haline dönüştürülmesi ile yalın dönüşüm gerçekleştirilmiş olur (Türkan, 2010).

Günümüzde, işletmelere oldukça değerli avantajlar sunan yalın düşünce uygulamalarının önemli bir kısmı başarısızlıkla sonuçlanmaktadır. Bu başarısızlıklar incelendiğinde üst yönetim desteğinin yetersizliği, kısa vadede sonuç alma beklentisi, değişime gösterilen direnç gibi pek çok sebep başarısızlığın gerekçeleri olarak gösterilebilir. Önemli bir başarısızlık sebebi de yalın üretimin temel amacının unutulması ve yalın araçları uygulamanın tek başına başarı kriteri olarak görülmesidir. Şirketler, ihtiyaçlarına göre bir öncelik sıralaması yapmadan rastgele belirlenmiş yalın araçları devreye alıp yürütmek için gereksiz kaynak harcayarak aslında yalın düşünceyle çelişen bir konuma düşebilirler (Türkan, 2010).

2.2.2 Değer akış haritaları

TOYOTA fabrikalarında kullanılmaya başlayan değer akışı haritalama ürünün geçtiği değer akışı boyunca oluşan malzeme ve bilgi akışını görmemize ve anlamamıza yardımcı olan bir “kağıt kalem” tekniğidir (Rother ve Shook, 1996). Müşterinin para vermeye hazır olduğu ürünün, istediği kalite ve zamanda teslim edilmesi önündeki tüm engeller birer israf olduğundan, bunların ortadan kaldırılabilmesi için bütüncül bir bakış açısına ihtiyaç duyulur. Değer akış haritaları, ayrıntıya takılıp etki düzeyi düşük ayrıntılarda vakit harcamadan sorunların üzerine gidilmesini mümkün kılan grafik araçlardır. Değer akışı haritalamada kullanılan standart semboller ve anlamları Çizelge 2.1’de gösterilmiştir (Rother ve Shook, 1999). Bu semboller standart şekillerinde olduğu biçimde kullanılabilmesi gibi, işletmeler kendilerine özgü biçimler de geliştirebilir.

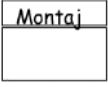

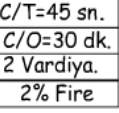

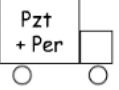








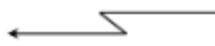
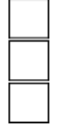







Değer akış haritalarını hazırlamaya başlamadan önce, ilgili tesis ve üretim işlemleri ile ilgili gerekli bazı temel bilgiler gereklidir. Çevrim süresi (C/T), model değiştirme süresi (C/O), makine kullanım oranları, üretim parti büyüklükleri, operatör sayısı, ürün çeşidi sayısı, ambalaj/kasa büyüklüğü, çalışma süresi (molalar hariç) ve hurda oranı temel bilgilerin başlıca kullanılanlarıdır (Rother ve Shook, 1999). Hesaplamalarda önemli bir yer tutan süre ölçümleri için basit kronometreler kullanılabilir. Makine kullanım oranları ve hurda oranlarının tespiti için üretim kayıtlarından faydalanılabilir.

Değer akış haritalarının hazırlanmasında kullanılan önemli bazı özgün ölçütlerin tanımları aşağıda verilmiştir (Womack ve Jones, 2003).

- *Çevrim Süresi (C/T)*: Bir proses tarafından parça veya ürün tamamlama sıklığıdır. Ayrıca, bir operatörün bir çevrim içinde üstlendiği iş elemanlarını yerine getirmesi için geçen süreyi de ifade eder.
- *Katma Değer Süresi (V/A)*: Müşterinin parasını ödemeye istekli olduğu şekilde ürünü dönüştüren iş elemanlarının süresidir.
- *Akış Süresi (L/T)*: Bir parçanın, bir proseste veya değer akışında başlangıçtan bitişe hareketi boyunca geçen süredir.

Değer akış haritaları esnek araçlar olup, işletmenin kendine özgü göstergeler, ölçütler ve grafikler geliştirmesi mümkün ve faydalıdır.

Çizelge 2.1 : Değer akış haritalarında kullanılan semboller ve anlamları.

	Üretim Prosesi		Dış Kaynaklar
	Bilgi Kutusu		Stok
	Kamyonla Sevkiyat		Süpermarket
	İTME Oku		Bitmiş Ürünün Müşteriye Hareketi
	İlk Giren İlk Çıkar (Sıralı Akış)		Operatör
	Çekiş		Kaizen İyileştirmeleri
	Manuel Bilgi Akışı		Elektronik Bilgi Akışı
	Tampon veya Emniyet Stoğu		Bilgi
	Yük Seviyelendirme		Çekme Kanbanı
	Üretim Kanbanı		Sinyal Kanbanı
	Kanban Kutusu		Sıralı-Çekme Topu

2.2.2.1 Değer akış haritası hazırlama işlemi

Değer akışı haritalama bir iletişim aracı, bir iş planlama aracı ve değişim sürecinin yönetildiği bir araç olabilir. Değer akışı haritalama, aslında bir dildir, ve herhangi yeni bir dil gibi, haritalamayı öğrenmenin en iyi yolu onu içgüdüsel olarak kullanıncaya kadar uygulama yapmaktır (Rother ve Shook, 1999).

Değer akışı haritaları (DAH) ile israfların tespit edilip önlenmesi işlemi iki aşamalıdır: ilk olarak işletmenin başlangıçtaki durumunu gösteren mevcut durum

haritası hazırlanır. Ardından yapılan değerlendirmeler ışığında gelecek durum haritası oluşturulur. Değer akışı haritalama işlemi aşağıdaki gibi özetlenebilir (Singh ve Sharma, 2009):

- i. Müşteri, tedarikçi ve üretim kontrol birimini gösteren simgeler aralarında yeterli boşluk bırakılarak yerleştirilir.
- ii. DHA üzerindeki simgelerin altına yerleştirilen bilgi kutucuklarına akış süresi, işlem süresi, değiştirme süresi, vardiya sayısı gibi bilgiler yazılır.
- iii. Üretim için gerekli ürünlerin miktarı ve kanban bilgileri öğrenilir.
- iv. Sevkiyat ve bilgi akışı dahil olacak şekilde ilgili ürünün tüm hareketleri oklarla gösterilir.
- v. İki iş istasyonu arasındaki yarı mamül stoğu bilgileri ilgili işaretlerle gösterilir.
- vi. Mevcut durum haritası üzerinde değerlendirmeler yapılarak önemli eksikliklerin yerleri tespit edilir.
- vii. Eksikliklerin tespit edildiği noktalarda yalın araçlarla yapılabilecek iyileştirmeler saptanır.
- viii. Hedeflenen iyileştirmeleri gösteren gelecek durum haritası hazırlanır.

Yukarıda özetlenen araçlar ve işlemler dizisi kullanılarak değer akışı haritalama işlemlerinin başarılı olabilmesi için dikkat edilmesi gereken bazı önemli hususlar aşağıda listelenmiştir (Lasa ve diğ., 2008):

- Değer akışı haritalama çalışmasının gereklerini yerine getirebilecek bir ekip oluşturulmalıdır.
- Çalışmanın işletme için olan önemini göstermek üzere yönetimin katılımı ve teşviki sağlanmalıdır.
- Ele alınan süreçler harita üzerinde kapsamlı biçimde ifade edilmelidir. Bunun için gerekli zaman sağlanmalıdır.
- İlgili verileri sağlayacak ölçüm ve bilgi sistemleri tespit edilerek etkin biçimde kullanılmalıdır.
- Değer akışı haritalama çalışmasını gerçekleştirecek ekibin, yalın üretim ile ilgili kavramları etkin kullanabilecek şekilde eğitilmesi gereklidir.

Değer akışı haritalama işlemine başlamadan önce açıkça anlaşılması gereken bir nokta, tek bir ürün ailesi üzerine odaklanması gerektiğidir. Müşteriler, firmaların tüm ürünleri ile değil, yalnızca ihtiyaç duydukları ürünleri ile ilgilenirler. Bu nedenle üretim hattından geçen her şeyin haritalandırılması gereksizdir. Küçük ve tek ürünlü bir fabrika olmadıkça, bütün ürün akışlarını tek bir fabrikada göstermek oldukça karmaşık olacaktır. Değer akışı haritalama, tek bir ürün ailesi için, fabrika içinde

kapıdan kapıya, proses adımları (malzeme ve bilgi) boyunca yürümek ve onları çizmek demektir (Rother ve Shook, 1999).

Değer akışının izlenmesi, bir şirkete oldukça geniş çerçevede imkanlar sağlar. Bunların gerçeğe dönüştürülebilmesi için firmalarda sıklıkla karşılaşılan bir hatanın önüne geçilmelidir. Firmalar genellikle departman ve fonksiyonlara göre düzenlendiğinden, bir ürünün tüm malzeme ve bilgi akışını (bütün prosesleri ve her birinin nasıl planlandığını) bilen bir kişi bulmak çok nadirdir. Böyle bir kişi olmadan akışın sağlanabilmesi şansa bırakılacaktır. Çünkü proses alanları değer akışı perspektifinden değil, kendi (birimlere ait) perspektifleri açısından optimum şekilde çalışacaktır. İzole edilmiş fonksiyon alanlarından kurtulmak için, ürün ailesinin değer akışını anlama ve iyileştirme sorumluluğunu üstlenen bir kişiye ihtiyaç vardır. Bu kişiye “Değer Akışı Yöneticisi” adı verilir. İşletmede en üst düzeydeki kişiye doğrudan rapor veren bir değer akışı yöneticisi, değişiklikleri gerçekleştirmek için gerekli güce sahip olabilir (Rother ve Shook, 1999).

2.2.2.2 Değer akış haritalarının üstünlükleri

Değer akış haritaları, yerleşim planları veya iş akış şemaları gibi, sadece algılamayı kolaylaştırmaya yarayan grafik araçlar olmayıp, işletme hakkında çok fazla bilgi içerirler ve önemli çıkarımların yapılmasını mümkün kılarlar. Değer akış haritalarının kullanıcılarına sundukları avantajları şu şekilde sıralayabiliriz (Rother ve Shook, 1999)

- Üretimdeki tek bir prosten, montaj, kaynak vb., daha fazlasını görmemize yardım eder. Akışı görebiliriz.
- İsraftan daha fazlasını görmemizi sağlar. Haritalama, değer akış yollarındaki israf kaynaklarını görmemize de yardımcı olur.
- Üretim prosesleri ile ilgili ortak bir konuşma dilinin oluşmasını sağlar.
- Akışla ilgili kararlar görünür olduğu için onları tartışılabilir hale getirir. Aksi taktirde, sahada alınan kararlar ve detaylar hatalı olabilir.
- Yalın kavramlar ile teknikleri birbirine bağlar.
- Uygulama planı için temel oluşturur. Değer akış haritaları, “kapıdan-kapıya” bütün akışın nasıl işleyeceğinin tasarlanmasına yardım ederek –ki birçok yalınlaşma

çalışmasında eksik olan nokta burasıdır- yalın uygulama için birer plan oluştururlarBilgi akışı ve malzeme akışı arasındaki ilişkiyi gösterir.

Katma değer yaratmayan adımlar, temin süresi, katedilen mesafe, stok seviyesi gibi sayısal değerler üreten birçok nicel teknikten ve yerleşim planları hazırlamaktan daha faydalı bir tekniktir. Değer akışı haritalama, akışı yaratmak için işletmenizi nasıl çalıştırmanız gerektiğini çok detaylı bir şekilde tanımlamanızı sağlayan nitel bir araçtır. Rakamlar aciliyet hissi yaratmak veya önce/sonra ölçümleri için iyidir. Değer akışı haritalama ise o rakamları değiştirmek için neler yapmanız gerektiğini tanımlamak için iyidir.

2.2.2.3 Değer akış haritalarının sakıncaları

Değer akış haritalarının yukarıda belirtilen avantajları sağlayabildiği, yapılan birçok çalışma ile gösterilmiştir. Fakat söz konusu faydaların sağlanamadığı durumlar ve başarılı çalışmalarda gözlemlenen eksiklikler de vardır. Bazı önemli eksiklikler aşağıda listelenmiştir (Gurumurthy ve Kodali, 2011):

- Değer akış haritaları, statik araçlar olduğundan, işletmenin sadece herhangi bir gün ve saatteki durumunu kaydedilebilmektedir. Dolayısıyla farklı zamanlarda yaşanabilecek aksaklıklar gözden kaçabilmektedir.
- Gelecek durum değer akış haritası, tüm problemlerin çözüleceği varsayılarak hazırlanmaktadır. Fakat bu pratikte hiçbir zaman gerçekleştirilememektedir.
- Benzer biçimde, kimi parametrelerde sağlanabileceği varsayılan iyileştirmeler hiçbir zaman gerçekleşemeyebilir.
- Haritaları el ile çizmek oldukça zahmetli ve zaman tüketen bir etkinliktir
- Değer akışı haritalama, tesis içerisinde yürüyerek gerçekleştirildiğinden, süreçlerle ilgili ayrıntılı gözlem yapılamamaktadır.
- Büyük işletmelerde birbiri ile kesişen çok sayıda değer akışı olduğundan, bunları kağıda aktarmak zordur
- Dönüşümün nasıl gerçekleştirileceğini kağıt üzerinde görmek zordur.

Değer akışı haritaları üzerinde, özellikle birden fazla ürün üreten hatların haritalanması esnasında, tekrar eden işlemlerin gösterilmesi çeşitli zorluklara yol açar. Bu durum, aynı işlem veya iş merkezinin, ardışık olmayan diğer işlemlerden sonra kullanılması durumunda ortaya çıkar. Bu durumda, tekrar eden işlemlerle ilgili kartlar çoğaltılabilir yada söz konusu geri döngü oklarla gösterilebilir. Literatürde bu konuda bir belirsizlik söz konusudur (Abbas, 2001). Özellikle kağıt alanının darlığı

düşünüldüğünde bu sorun karmaşaya yol açabilir. Bunun için iyileştirmelerde etkili olacağı düşünülmeyen tekrar işlemleri gösterilmeyebilir.

Değer akış haritalarının ele alınabilecek bir diğer zayıf yönü de, işlem adımlarının arasında gerçekleştirilen sevkiyatlara dair bilgilerin (parti büyüklüğü, partilerin hareket sıklığı, taşınan yarı-mamüllerin cinsleri ve özellikleri, iş istasyonlarının konumları, taşıma mesafesi ve süresi vs.) ifade edilememesidir. Değer yaratmayan ama ciddi süreler tüketebilen taşıma sürelerinin önemi bilinmektedir. Ayrıca bu süreler göz önünde bulundurulmadığında ardışık işlemler arasında kapasite eşleştirmede sorunlar yaşanır ki, genellikle sorun tampon stoklarla önlenmeye çalışılır ve bu durum önemli bir israf kaynağına neden oluşturur (Abbas, 2001).

Özellikle geleneksel yöntemlerle üretim yapan işletmelerde, yalın dönüşüm ile elde edilecek kazanımları sadece gelecek durum haritası ile göstermenin yetersiz olduğu ve bu noktada benzetim tekniğinin kullanılabilmesi belirtilmiştir (Abdülmalek ve Rajgopal, 2006).

Değer akış haritalarının bu çalışma kapsamında ele alınabilecek son ve önemli bir diğer zayıf yönü ise, farklı akış yapısına sahip birden fazla ürünün tek bir harita üzerinde gösterilmesinin zorluğudur. Söz konusu sorunu gidermek üzere her bir ürün için ayrı haritalandırma yapılması (Rother ve Shook, 1999) veya bilişsel haritaların kullanımı önerilmektedir (Kayakutlu ve diğ., 2007). Özellikle siparişe dayalı (Make-To-Order) üretim yapan işletmelerin karmaşık üretim yapısının (farklı ürünlerin imalat sürecinde ortak makinaların kullanılması), MultiProduct Process Chart (MPPC) ve FromTo Chart gibi endüstri mühendisliğinin temel araçlarını kullanarak, değer akış haritaları üzerinden analiz edilebileceği gösterilmiştir (Abbas, 2001).

2.3 Bayes Ağları

Bayes Ağı, bir kümenin değişkenlerini ve bu değişkenler arasındaki niteliksel ilişkileri açıklayan bir grafik gösterim ile söz konusu değişkenler arasındaki olasılıksal ilişkileri açıklayan nicel bir yaklaşımın bir arada yer aldığı bir modeldir (Pearl, 1998). Bayes ağları (inanç ağları), eldeki verinin eksik ve/veya kesin olmadığı durumlarda kullanılabilen ve olasılıksal temellere dayanan bir modelleme aracıdır. Sebep ve sonuçlar arasındaki etkileşimi ve parametrelerdeki değişimlerin sistemin bütününe nasıl etkilediğini görebilmek için etkili bir araç olup günümüzde

tıp, mühendislik, linguistik, atık yönetimi ve enerji gibi birçok alanda belirsizlik ortamında senaryo geliştirmek üzere kullanılmaktadır (Charniak, 1991).

Bayes Ağlarının önemli bir yönü karmaşık olasılıksal ilişkiler içeren sistemlerin grafik gösterimlerle kolayca resmedilmesi ve bu sayede anlaşılması zor matematiksel ifadelerin ve denklemlerin daha kolay incelenebilir hale getirebilmesidir. Bir diğer önemli yanı ise uzman görüşlerine dayalı oluşturulan olasılık değerlerini içermesi ve bu sayede objektif bir değerlendirmeye imkân sağlamasıdır. Bayes Ağlarının belki de en önemli yanı ise bu yöntemin bir düşünme yada çıkarım yapma süreci olmayıp gerçek mevcut durumun olduğu gibi analiz edilmesine fırsat vermesidir (Pearl ve Russel, 2001).

Bayes ağları sahip olduğu şu özelliklere bağlı olarak yaygın biçimde kullanılmaktadır (Jones ve diğ., 2010; Heckerman ve diğ., 1995):

- Şartlı bağımlılıkları (genellikle nedensel ilişkiler) hem matematiksel hem de görsel olarak ifade edilebilmesi,
- Olası müdahalelerin (olasılık değerlerindeki değişimler) sonuçlarını tahmin edebilmesi,
- Geçmiş veriler ile uzman görüşlerini birleştirebilmesi ve yeni bilgiler geldikçe modelin güncellenebilmesi.

2.3.1 Bayes ağlarının tanımı

Tamamlanmış her hangi bir olasılık modeli gibi Bayes ağları da ilgi alanı için bir ortak olasılık dağılımı tanımına sahiptir (Pearl ve Russell, 2001). Ortak dağılım, mevcut olabilecek en kapsamlı olasılık değeri olup; diğer tüm olasılık değerleri buradan hesaplanılabilir (Russel ve Norvig, 2002). Bayes Ağları da bu özelliğe sahip olduğu için, ağdaki herhangi bir değişken alt kümesi hakkında çıkarım yapmak, ağda yer alan ve ilişkili olduğu bir başka alt küme sayesinde mümkün olabilmektedir. Bu özelliklere bağlı olarak Bayes Ağları'nın tanımını yapabiliriz (Keskin ve diğ., 2012):

X_i ($1 \leq i \leq n$) biçiminde rastgele etiketlenmiş n adet düğümden oluşan yönlendirilmiş çevrimsiz bir grafiği ele alalım. Bu ağın ortak olasılık dağılımı, $p(x_1, x_2, \dots, x_n)$, her bir değişkenin bağımsız olasılıklarının çarpımı biçiminde ifade edilebilir (2.1):

$$\begin{aligned}
p(x_1, x_2, \dots, x_n) &= p(x_1) \cdot p(x_2, \dots, x_n | x_1) \\
&= p(x_1) \cdot p(x_2 | x_1) \cdot p(x_3, \dots, x_n | x_1, x_2) \\
&\dots \\
&= p(x_1) \cdot p(x_2 | x_1) \dots p(x_n | x_1, \dots, x_{n-1})
\end{aligned} \tag{2.1}$$

Burada x_i değeri X_i değişkeninin değerini ifade etmektedir. Dağılımın bu biçimde çarpanlarına ayrılması zincir kuralı olarak bilinmektedir ve tüm rastsal değişkenler için geçerlidir. Ortak dağılımın terim sayısı, ağın büyüklüğüne bağlı olarak üstel biçimde büyüsede, Bayes Ağları'nın şartlı bağımsızlık özelliğine bağlı olarak daha küçük sayıda terime sahiptir. Bu özellik, ağın ortak olasılık dağılımını karakterize etmek için gerekli parametre sayısını (bazen çok ciddi miktarda) azaltmaktadır (Bengal, 2007). Bir Bayes Ağında oklar biçiminde (veya okların yokluğu biçiminde) belirtilen bağımsızlık kabulü, herbir değişkenin ast ve üst bileşenleri ile arasındaki şartlı bağımsızlığı tanımlar (Pearl, 1988) (Frey, 1998).

Dolayısıyla $X = \{X_1, X_2, \dots, X_n\}$ kümesi için ortak olasılık dağılımını 2.2'de gösterilen biçimde verilebilir (Pearl, 1988):

$$p(x_1, x_2, \dots, x_n) = \prod_{i=1}^n p(x_i | pa_i) \tag{2.2}$$

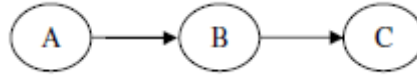
Burada pa_i ifadesi X_i 'nin üstlerinin değer kümesini ve $p(x_i | pa_i)$ ifadesi X_i değişkeni ve üstleri için verilen şartlı dağılımı göstermektedir.

2.3.2 Bayes ağlarının yapısı

Bayes ağlarında yer alan her bir değişken “düğüm”lerle gösterilir ve her düğüm için bir olası değerler kümesi mevcuttur. Düğümler arasındaki nedensellik ise bir ok yardımıyla gösterilir ve bu oklar “kenar” olarak adlandırılır. Temsil ettiği değişkenin özelliklerine bağlı olarak, bazı değişkenlerin olasılık değerleri diğer düğümler ile arasındaki nedensel ilişkiye bağlı olarak değişebilir. Bu yüzden, düğümlerin olasılık değerlerini gösteren tablolar, diğer düğümlerin değişik durumlarına göre aldığı farklı değerleri gösterecek şekilde düzenlenmiş olabilir (Çınar ve Kayakutlu, 2010).

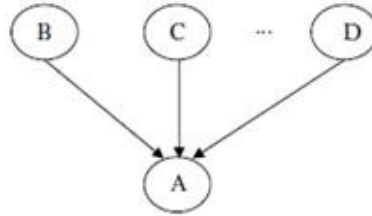
Düğümler ve düğümler arası ilişkilerin yapısına göre üç farklı bağlantı tipi ortaya çıkmaktadır: seri bağlantılar, yakınsayan bağlantılar ve iraksayan bağlantılar. Bu bağlantı tiplerinin tanımları aşağıda verilmiştir (Akçaoğlu, 2012).

- *Seri Bağlantılar:* Birbirleri ile ilişkisi olan A, B ve C olayları olduğu varsayalım. Eğer, C olayı üzerinde B olayının, B olayı üzerinde de A olayının etkisi varsa bu durum seri bağlantıya bir örnek teşkil etmektedir (Şekil 2-1).



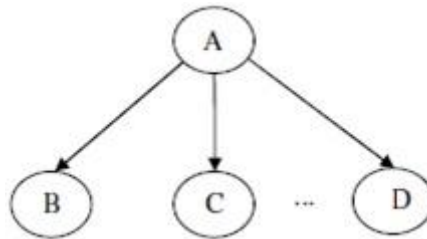
Şekil 2.1 : Seri bağlantı.

- *Yakınsayan Bağlantılar:* Birbirleri ile ilişkisi olmayan B, C ve D olaylarının A olayı üzerinde bir etkisi var ise bu durum yakınsayan bağlantılara bir örnektir. Burada önemli olan A üzerinde etkisi olan düğümlerin birbirleri arasında etkisi olmamasıdır (Şekil 2.2).



Şekil 2.2 : Yakınsayan bağlantı.

- *İraksayan Bağlantılar:* Bir A olayı olduğunu ve bu A olayının birbirleriyle ilişkisi bulunmayan B, C ve D olaylarına etkisi olduğunu kabul edelim. Bu durumda Bayes ağlarında ıraksayan bağlantılar olarak adlandırılan durum ortaya çıkmaktadır (Şekil 2-2).



Şekil 2.3 : İraksayan bağlantı.

2.3.3 Bayes ağlarının oluşturulması

Bayes Ağları nedensel ve olasılıksal temellere dayanır ve bu yüzden oluşturulmaları süreci iki aşamalıdır: niteliksel aşama ve niceliksel (olasılıksal) aşama (Nadkarni ve Shenoy, 2004). Niteliksel aşama ağın yapısını belirlemeye yöneliktir; örneğin, belirsizlik arzeden ilgili değişkenlerin aralarındaki ilişkinin (şartlı bağımlılık yada bağımsızlık) belirlenmesi bu aşamada yapılır. Öte yandan niceliksel aşamada, sayısal değişkenlerin değerleri belirlenmeye çalışılır; örneğin, farklı değişkenler arasında

şartlı olasılıkların gücünü ifade eden sayısal değerler belirlenir (Keskin ve diğ., 2012). Bayes Ağları ile elde edilecek çıkarımlar, yapı ile ilgili niceliksel olasılıklardan ziyade yapının niteliksel özelliklerine bağlıdır (Speigelhalter ve diğ., 1993).

Bir Bayes Ağının yapısını belirlemeye yönelik olarak literatürde önerilen az sayıda sistematik teknik vardır. Bunlar arasında iki tanesi öne çıkmaktadır: bilgi temelli yaklaşım ve veritemelli yaklaşım. Bilgi temelli yaklaşımlar, bir ağı oluştururken uzmanların bilgilerinden faydalanır ve iki varsayım ile hareket eder (Heckerman, 2008):

- 1) Uzmanlar, değişkenler arasındaki nedensel ilişkileri kolayca belirleyebilirler
- 2) Nedensel ilişkiler, şartlı bağımlılıkları ispatlar

Bu tür bir yaklaşım neticesinde elde edilen ağ yapısı, tanımda açıklanan özellikleri karşılar niteliktedir.

Literatürde, Bayes Ağı oluşturmak için uzmanların alan bilgisine dayanan nedensel haritaların oluşturulması yaklaşımı tavsiye edilmiş ve nedensel haritaları Bayes Ağlarına dönüştürmek için dört aşamalı bir işlem önerilmiştir:

- i. Değişkenler arasında bağlantı olmaması bu değişkenlerin mutlak olarak bağımsız olduğu anlamına gelmediğinden, bir nedensel haritayı Bayes Ağı olarak değerlendirebilmek için, nedensel haritayı tam manası ile bir haritaya dönüştürmeliyiz. Kusursuz bir haritada, kavramlar arasında bağlantı bulunmaması kavramların mutlak bağımsızlığını ifade ederken; kavramlar arasında bağlantı bulunması kavramların mutlak bağımlılığını ifade eder. Bunu sağlamak için uzmanlarla danışarak mevcut ve eksik bağlantılar ayrıntılı olarak değerlendirilebilir (Nadkarni and Shenoy, 2004).
- ii. Bağlantıların yönünü tam olarak belirleyebilmek için, Bayes Ağı'nın oluşturulması sürecinde nedensel bağlantılar arkasındaki tümdengelim ve tümevarım ilişkileri arasındaki ayrımın üzerinde durulmalıdır (Nadkarni and Shenoy, 2004).
- iii. Değişkenler arasındaki doğrudan ve dolaylı ilişkilerin tam olarak belirlenmesi gereklidir. Çünkü bu ayrım şartlı bağımsızlık kararının verilmesinde etkilidir. Ayrıca, anlamlı bir katkısı olmayan bağlantıların silinmesi de modelin karmaşıklığını azaltacaktır (Çınar ve Kayakutlu, 2010).
- iv. Bayes Ağları içerisinde doğrudan çevrimlere yer verilemeyeceği için ortadan kaldırılmalıdırlar. Bu şart, bir değişkenler kümesinin ortak olasılığının çarpanlara ayrılması işleminde hayati önem arz eder (Vorobev, 1963).

Bayes Ağlarının oluşturulması için alternatif bir yöntem, veri tabanlı yaklaşımları kullanmaktır. Veri temelli yaklaşımlar, şartlı bağımsızlık varsayımını kullanarak nedensel ilişkileri ve model ağını öğrenebilirler (Heckerman ve diğ., 1995). Bu gruptaki yaygın bir yöntem kısıt-temelli-yapısal-öğrenmedir ve ön bilgi veya kullanıcı girdisi gerektirmezler. Bu algoritma tüm değişken çiftleri arasında şartlı bağımsızlık ve bağımlılıkları araştırır ve bunlara dayalı olarak bir model yapısı kurar (Steck ve Tresp, 1999). Bir diğer alternatif ise Bayes yaklaşımı olup, uzman bilgileri ve verileri birleştirerek gelişmiş modeller üretebilirler. Öncül bilgilerle belirlenen Bayes Ağının en olası yapısının seçiminde verilerden faydalanılır. Bu tür yöntemlerin bilgisayarlarla uygulanması oldukça maliyetli olabilir (Steck ve Tresp, 1999).

Bayes Ağının yapısı belirlendikten sonra, ağdaki değişkenlerle ilgili (şartlı) olasılık fonksiyonlarının türetilmesi gerekmektedir. Bunun için ilk olarak her bir değişkenin durum uzayı tanımlanmalıdır. Durumlar için belirlenen olasılık değerleri nesnel (örneğin fiziksel) veya öznel (örneğin Bayes) yapıda olabilir. Nesnel olasılıklar verilerden türetilirken; öznel olasılıklar uzmanlardan edinilebilir (Keskin ve diğ., 2012).

Bayes Ağlarının oluşturulma sebebi, verili bir alanda, belirsizlik altında gerçekleştirilen muhakemeye yardımcı olmalarıdır (Kjærulff ve Madsen, 2008). Bu kapsamda düşünüldüğünde belirsizlik altında muhakeme, bir değişken altkümesinin olasılığını mevcut bilgileri ağ kapsamında çoğaltarak değerlendirmektir (Pearl ve Russel, 2001). Bunun için, ağın yapısına bağlı olarak varsayılan bağımsızlık ilişkilerinin ortak olasılık dağılımını zincir kuralı aracılığıyla çarpanlarına ayırma yolu kullanılmaktadır. Bilgi seviyesini artırmak için modele bulgular girilerek hesaplanan şartlı olasılıklar ardıl olasılıklar olarak adlandırılır (Jones ve diğ., 2010). Boş olmayan bir $\varepsilon = \{\varepsilon_1, \dots, \varepsilon_m\}$ bulgu kümesinde gözlemlenmemiş bir $X_i \in X$ değişkeninin ardıl olasılığı (2.3)'deki gibi hesaplanabilir:

$$P(X_i|\varepsilon) = \frac{P(\varepsilon|X_i) \cdot P(X_i)}{P(\varepsilon)} = \frac{P(X_i, \varepsilon)}{P(\varepsilon)} \quad (2.3)$$

3. DEĞER AKIŞ HARİTALARININ ENERJİ VERİMLİLİĞİ ÇALIŞMALARINDA KULLANIMI İÇİN YÖNTEM ÖNERİSİ

Bu çalışmada, değer akış haritaları ve Bayes Ağları tekniklerini bir arada kullanarak, enerji verimliliği artırma çalışmaları için bir yol haritası hazırlanmaktadır. Yol haritası üç aşamadan oluşmaktadır: yalın analiz (YA), enerji değer akış haritasını (E-DAH) hazırlamak için enerji verimliliği etüdü yapmak ve gelecek durum -enerji değer akış- haritasını (GDH) oluşturmak için Bayes Ağları'nı kullanarak senaryolar geliştirmek.

3.1 Yalın Analiz

Birinci aşama yalın analiz olup, yalın araçlar kullanılarak bir imalat işletmesinde değer üreten ve üretmeyen aşamalar belirlenir. Üç işlemde oluşur:

- i. *Veri Toplama:* Tesisin kendisi ve mevcut süreçler ile ilgili hem niceliksel hem de niteliksel veriler toplanır. Niceliksel veriler için enerji tüketim raporları, enerji muhasebesi verileri, ilgili teknik ölçümler, kullanılan araçların verileri ve çeşitli diğer veriler kullanılabilir. Niteliksel veriler için, çalışanlarla (özellikle kazan operatörleri ve elektrik teknisyenleri gibi enerji tüketen araçları kontrol eden çalışanlar) ve mühendislerle mülakat yapılmalıdır.
- ii. *DAH hazırlanması:* İlgili veriler toplandıktan sonra, uygun sembolleri kullanarak ve kağıt-kalem veya bir yazılım ile DAH oluşturulur.
- iii. *Atıkların Belirlenmesi:* DAH üzerindeki verileri analiz ederek (yarı mamüllerin miktarı, bekleme süreleri, vb.) ve gereksiz işlemleri (çalışan hareketleri, (yarı)mamül taşıma işlemleri, vb.) tespit ederek tesisteki israflar belirlenir.

3.2 Enerji Verimliliği Analizleri

İkinci aşamada enerji verimliliği analizlerini gerçekleştirerek, bir önceki aşamada oluşturulan mevcut durum değer akış haritası, sadece enerji tüketimine odaklanmış olan mevcut durum enerji değer akış haritasına (E-DAH) dönüştürülür.

3.3 Gelecek Durum Enerji Değer Akış Haritasının Oluşturulması

Üçüncü Aşamada, bir önceki aşamada hazırlanan E-DAH kullanılarak ve ilgili göstergeler gözden geçirilerek Bayes Ağının etkenleri tespit edilir. Uzmanlarla yapılan görüşmeler, enerji verimliliği darboğazları için şartlı olasılıkların tespit edilebilmesini sağlar. Bayes Ağı kullanılarak farklı senaryolar geliştirilebilir ve ilgili değerler analiz edilerek GDH oluşturulur. (Şekil3.1), önerilen yöntemi grafiksel olarak yansıtmaktadır.



Şekil 3.1 : Yalın enerji analizi yol haritası.

Yukarıda özetlenen yol haritasında yer alan adımların enerji ile ilişkili olanları aşağıda açıklanmıştır.

- *Enerji Verimliliği Etüdü:* Bu aşamada gerçekleştirilecek işlemler firmanın enerji verimliliği politikası ve çalışmaları ile paralel olarak belirlenebilir. Firmaların enerji verimliliğini artırmak için gerçekleştirebilecekleri başlıca etkinlikler: kullanılan araçların (elektrik motoru, kazan, lambalar, vb.) enerji verimliliği standardının artırılması, enerji tasarruf teşvikleri, makine operatörlerinin enerji hakkında eğitilmeleri, proses performans göstergelerinin (makine kullanım oranları, hatalı imalat oranları, vb.) iyileştirilmesi, enerji verimliliğinin artırılması için kaynak ayrılması, aydınlatma ve iklimlendirme sistemlerinin kullanımı konusunda sorumluların ve çalışanların bilinçlendirilmesi, vb.'dir.
- *Mevcut Durum E-DAH:* Mevcut durum değer akış haritası ve enerji etüdülerinin sonuçları kullanılarak mevcut durum E-DAH hazırlanabilir. Bu haritada, enerji tüketimi ile ilgili olmayan işlemlerin gösterilmesine gerek yoktur. Ayrıca, enerji verimliliği etüdüleri ile tespit edilen bilgilere dayanarak enerji tüketim miktarı ve enerji verimliliği artırma potansiyelini gösteren ilave satırlar ve bilgi kartları eklenebilir.

- *Kriterlerin Belirlenmesi:* Bayes Ağı'nı oluşturacak doğru ve etkili kriterlerin belirlenebilmesi için literatür taramasının yanı sıra uzmanlar ve işletme çalışanları (yönetici, mühendis ve operatörler) ile mülakatlar yapılmalıdır.
- *Bayes Ağının Hazırlanması:* İşletmedeki uzmanlar ile yapılan mülakatlar ile tespit edilen, enerji kullanımı için önemli etkenlerin olasılıksal ilişkilerinden faydalanarak Bayes Ağı oluşturulur.
- *Senaryo Analizi:* İyileştirme çalışmaları esnasında, genellikle ele alınabilecek birden fazla nokta vardır oysa firmaların hepsini birden gerçekleştirmek için yeterli kaynakları bulunmamayabilir. Firmalar, arz ettikleri potansiyele göre söz konusu iyileştirme noktalarından bazılarını seçerler. Senaryolar oluşturabilmek ve verimliliklerini değerlendirebilmek için yazılımlardan faydalanılır. Bir senaryonun bütüncül verimliliğini değerlendirirken, içerdiği değişkenlerin verimliliğini ayrı ayrı ele almanın yanı sıra değişkenlerin etkileşimi de göz önüne alınmalıdır.
- *Gelecek Durum E-DAH'ın Hazırlanması:* Enerji verimliliğini artıracak farklı senaryoların analizi sayesinde en uygun ve faydalı yöntem belirlenerek gelecek durum E-DAH hazırlanabilir. Bu haritada, üzerinde durulacak noktalar ve hedeflenen enerji tüketim değerleri gösterilebilir.

4. UYGULAMA ÇALIŞMASI

Dördüncü bölümde, yalın enerji analizi için önerilen yol haritasının işlerliğini sınamak, limitlerini görmek, avantaj ve dezavantajlarını keşfetmek için bir uygulama çalışması yapılmıştır. Uygulama çalışması, şekillendirilmiş kaplı yonga levha (KYL) imalatı yapan orta ölçekli bir işletmede gerçekleştirilmiştir. KYL'nin imalatı yongalama, yonga kurutma, tutkallama, ön şekillendirme ve sıcak presleme aşamalarından oluşmaktadır. Bu aşamalar aşağıda kısaca tanıtılmıştır.

- *Yongalama:* Tomrukların önce odun, ardından talaş ve son olarak yonga haline getirildikleri bölümdür.
- *Yonga Kurutma:* Yongaların, iç nemini almak için kurutma fırınına yollandığı adımdır.
- *Tutkallama:* Yongaların, kimyasallarla harmanlandığı basit makine işlemidir.
- *Ön Şekillendirme:* Soğuk hidrolik preslerle yongaların sıkıştırılarak ürünlerin ilk şekillerinin verildiği işlemdir.
- *Sıcak Presleme:* Sıcak hidrolik preslerle ürünlere son şeklin verildiği ve dekor kağıtlarının kaplandığı aşamadır.

4.1 Birinci Aşama: İmalata Ait Değer Akış Haritasının Oluşturulması

İşletmede gerçekleştirilen imalatın analizine, üretimi planlayan ve kontrol eden mühendislerle üretim sahasında görüşülerek başlanmıştır. Tedarik, stok, üretim işlemleri ve çalışanlar hakkında bilgi edinilmiştir. İşletmenin yalın üretim altyapısı ve tecrübesi bulunmadığından gerekli bazı verilerin mevcut olmadığı tespit edilmiş ve ihtiyaç duyulanların belirlenmesi için ölçümler yapılmıştır. İlgili verilerin toplanmasının ardından mevcut durum değer akış haritası hazırlanmıştır (Şekil 4.1).

İşletmenin hammadde tedariği başlıca üç grup altında sınıflandırılabilir: odun, kimyasallar ve kağıt. İşletmenin üretim amaçlı olarak kullandığı odunlar kayın ve göknar türünde olup, herhangi bir boyut veya şekil kısıtı bulunmayan sanayi odunu türünde satın alınmaktadır. Odun tedariği Orman Genel Müdürlüğü'nün düzenlediği ihalelerden sağlanmakta olup, işletme-ortalama olarak- ayda beş kez bölgesinde

düzenlenen ihalelere katılmaktadır. İşletmenin kullandığı kimyasal hammaddelerin başlıcaları melamin ve üre reçineleridir. Komşu veya yakın illerden tedarik edilebilen söz konusu reçineler, üretim planına bağlı olarak ayda bir kez toplu satın alma ile tedarik edilmektedir. Üçüncü önemli hammadde tedariki ise çeşitli niteliklerde kağıt satın almalarıdır. Bu grupta yer alan dekor kağıdı tüketimi müşteri talebine göre değiştiğinden aylık satın alma yapılmakta olduğu tespit edilmiştir. Tedarik ile ilgili bu bilgiler, haritanın sol üst kısımda yeşil renk ile gösterilmiştir (Şekil 4.1).

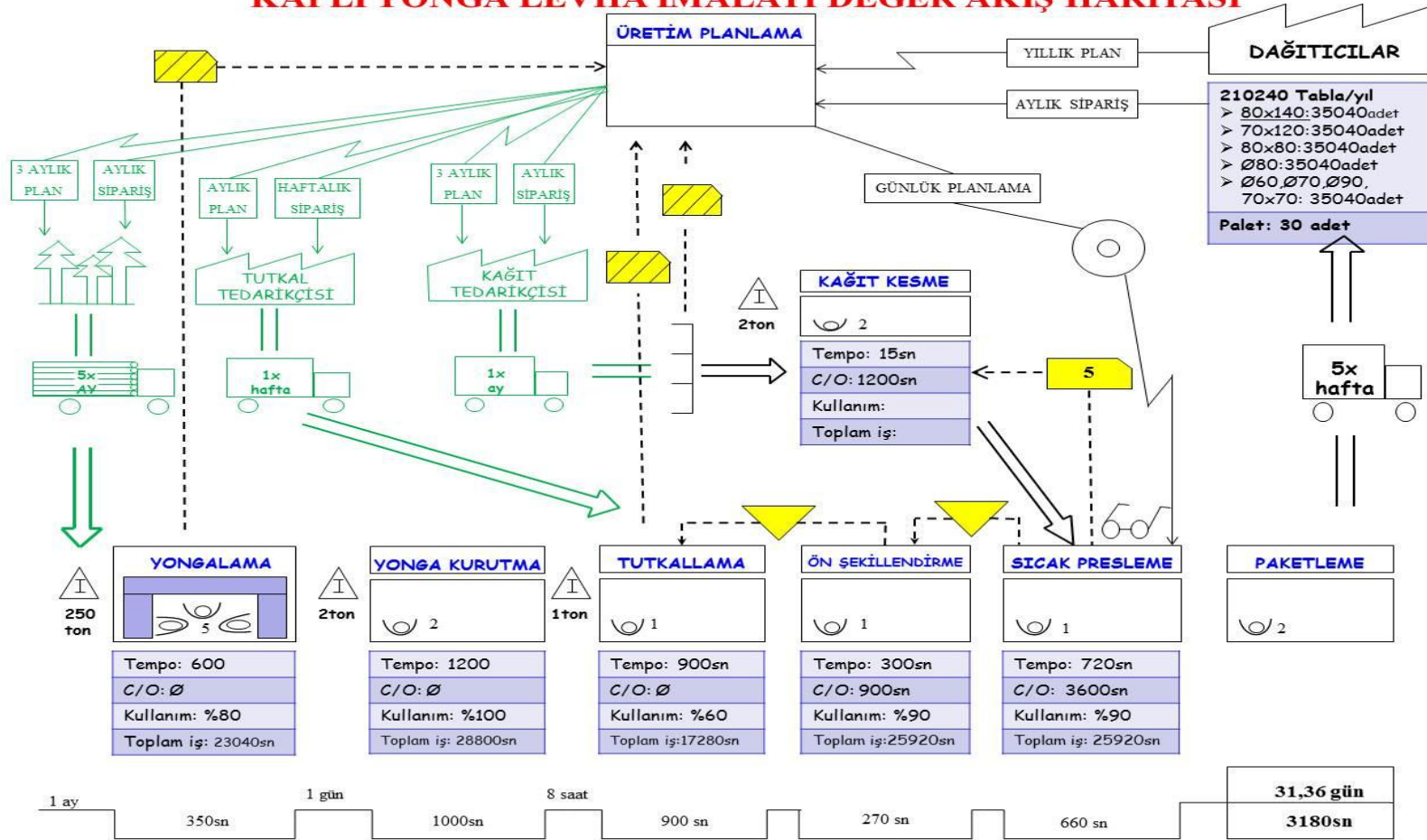
İşletmenin en önemli hammadde girdilerinden olan odunun tedariki doğa ve rekabet şartlarından çok etkilendiğinden, işletmenin yaklaşık bir aylık tüketimine karşılık gelecek değer olan 250 ton kadar odunun stoklarda hazır tutulması tercih edilmiştir. Yine rekabet ve döviz kuru değişimlerinden etkilenen kimyasal tedarikinde önlem olarak 1 tonluk stok oluşturulmuştur. Müşteri talebine bağlı olarak değişen dekor kağıdı tedarikinde ise süpermarket sistemi kurulmuş ve ay içerisinde tüketilen kadar hammaddenin ay sonunda satın alınması sağlanmıştır.

Üretim işlemleri ile ilgili olarak çalışan sayısı, tempo zamanı (takt süresi), model değiştirme süresi (C/O), makine kullanım oranı ve vardiya başı toplam iş süresi ölçümleri yapılmıştır ve ilgili değerler harita üzerinde gösterilmiştir (Şekil 4.1). Yongalama, yonga kurutma ve tutkallama işlemlerinde modellere göre ürün değiştirme yapılmadığından “C/O=Ø” ifadesi kullanılmıştır. Bu ölçümlerin ardından, bir parçaya ait hammadde olarak ulaşımından müşteriye sevkiyatına kadar atölyede gerçekleştirilen işlemlerin süresi hesaplanarak haritanın el alt kısmına eklenmiştir.

İşletmedeki bilgi akışını başlıca iki grupta toplayabiliriz: üretim planlama birimine yapılan stok bildirimleri ve prosesler arası bilgi aktarımı. Yongalama, tutkallama ve kağıt kesme birimleri tarafından ilgili hammaddeler olan odun, reçine ve kağıt hammaddelerinin günlük tüketim ve kalan stok miktarları her gün sonunda üretim planlama birimine bildirilmektedir. Sıcak presleme bölümünün kağıt kesme ile ön şekillendirme bölümlerinden ve önşekillendirme bölümünün tutkallama bölümünden yaptığı kaynak kullanımına dair bilgi akışı gösterilmiştir (Şekil 4.1).

İşletmede üretimi tamamlanan ürünler paketlenerek stok bölümüne aktarılmakta ve haftada ortalama olarak beş kez gerçekleştirildiği öğrenilen sevkiyat işlemi ile dağıtıcılara ulaştırılmaktadır (Şekil 4.1). Paketleme işlemi elle yapılmakta olup enerji kullanımını gerçekleştirilmemektedir.

KAPLI YONGA LEVHA İMALATI DEĞER AKIŞ HARİTASI



Şekil 4.1 : Mevcut durum değer akış haritası.

İşletmede yarı otomatik makinalarla gerçekleştirilen KYL imalatı sürecinin yalın bir yapıda olduğu gözlemlenmiştir. Üretim sisteminin doğası gereği sistem akış şeklinde ilerlemektedir. Üretim küçük bir alanda gerçekleştirildiğinden, istasyonlar arası iletişimin sözel olarak yapıldığı ve basit bir çekme sisteminin mevcut olduğu görülmüştür. Fakat ürün tasarımı ile ilgili çok önemli bir noktada ciddi bir israf kaynağı söz konusudur. Üretilen kaplı yonga levhaların, levha kalınlık değeri, ilgili Türk Standartları Enstitüsü (TSE) değerinin üzerindedir. Buna bağlı olarak ürünler daha ağır olmakta ve ayrıca üretilebilmeleri için daha fazla kurutma ve pişirme süreleri gerekmektedir. Bu durum ise taşıma, kurutma ve pişirme için daha fazla enerji ve para harcanması anlamına gelmektedir. Ayrıca ilk iş istasyonunda, halihazırda üç işlemde gerçekleştirilen yongalama işlemini tek bir makina ile gerçekleştirebilecek bir teknoloji mevcuttur. Dolayısıyla burada da yalınlaşma potansiyeli mevcuttur. Tesis seri üretime yeni başlamış olduğundan, aksaklıkların yaşanmakta olduğu ve sürekli olarak iyileştirmelerin yapıldığı tespit edilmiştir.

4.2 İkinci Aşama: Enerji Değer Akış Haritalarının Oluşturulması

Birinci aşamada oluşturulan değer akış haritası, enerji tüketimi ile ilgili verileri göstermemektedir. İkinci aşamanın amacı ise, işletmeye dair genel bilgiler veren mevcut durum değer akış haritasından, işletmenin enerji kullanımı ve enerji verimliliği potansiyeline dair bilgi veren mevcut durumenerji değer akış haritasına geçişin sağlanmasıdır. Elde edilecek bu yeni haritaya, ‘mevcut durum enerji değer akış haritası’ ismi verilebilir.

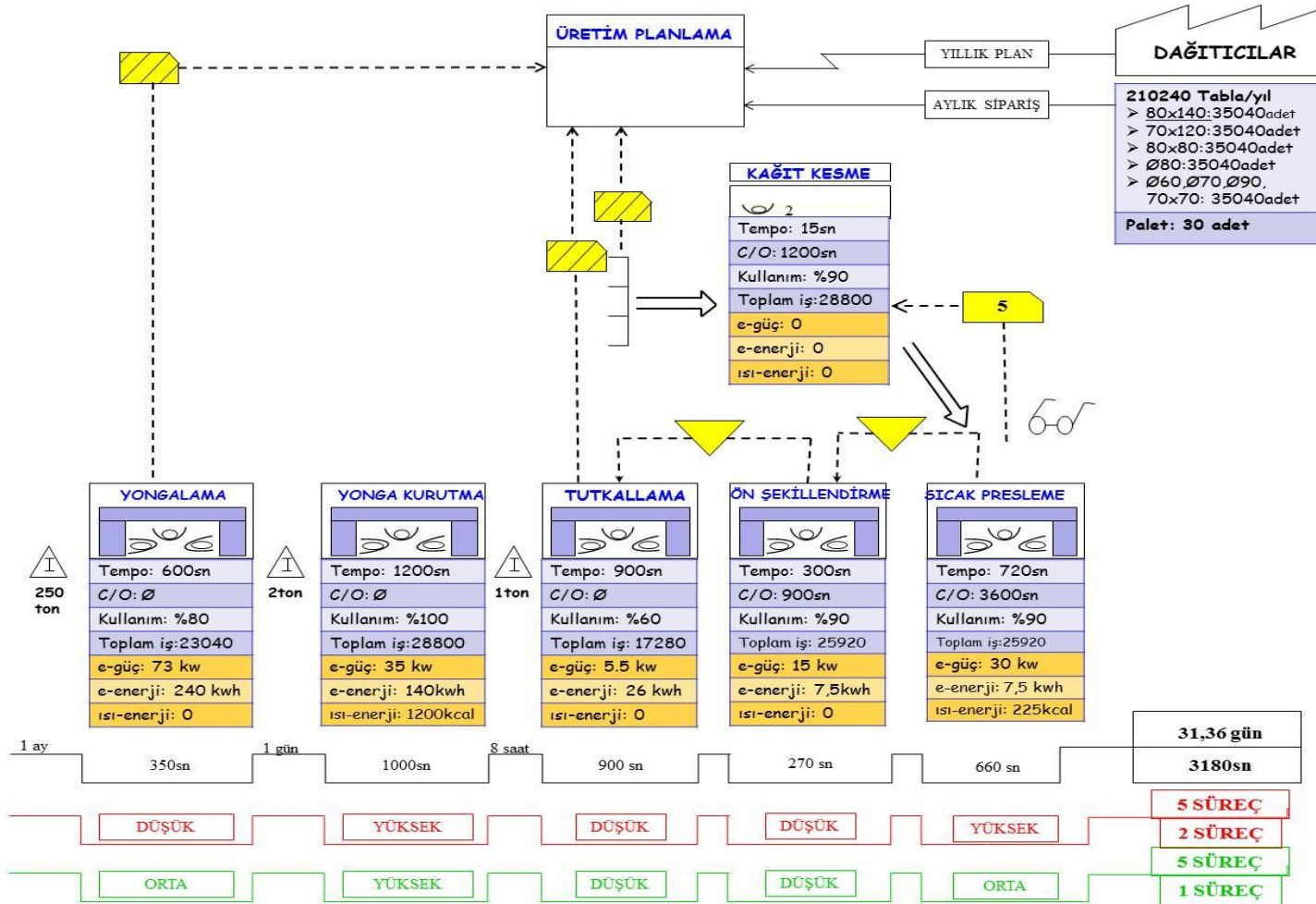
Bu aşamaya, üretim sürecindeki her aşamanın enerji kullanımı incelenerek başlanmıştır. Elektrik ve kömür tüketimine ait kayıtlar analiz edilerek gerekli ölçümler gerçekleştirilmiştir. Elektrik motorlarının güçleri listelenmiş ve yüksek güçte olanlar tespit edilmiştir. Makine, kazan ve fırın gibi yoğun enerji tüketen araçların tasarımları ve teknik özellikleri incelenip gözlemler yapılmış ve operatörler ile mülakatlar yapılmıştır. Bu çalışmalar neticesinde elde edilen tüm veriler bir araya getirilip analiz edildikten sonra, mevcut durum değer akış haritası sadece enerji ile ilişkili bileşenler kalacak şekilde yeniden düzenlenmiştir (Şekil 4.2)

Mevcut durum E-DAH’da tedarik işlemlerinin enerji tüketimleri ile ilgili bir bilgi verilmemiştir (Şekil 4.2). Zira buradaki enerji tüketimleri, tedarikçilerin üretim

operasyonları ve nakliyat işlemlerinin enerji tüketimi ile ilişkili olup bu çalışma kapsamında değildir. Benzer şekilde, paketleme işleminde enerji kullanılmadığından ve dağıtım işleminde kullanılan araçların enerji tüketimleri ve verimlilikleri de bu çalışma kapsamında olmadığından yer verilmemiştir.

İşletme içerisinde enerji tüketimi ele alınacak işlemler için ise, değer akış haritasında bulunmayan bazı yeni bilgiler eklemek gereklidir. Bunların başında, enerji tüketimine ve tüketimi gerçekleştiren araçlara dair bilgiler yer almaktadır. Söz konusu üretim işlemleri için iki tür enerji tüketimi söz konusudur: elektrik motorları tarafından kullanılan elektrik enerjisi ve sıcak pres makinalarını ısıtan ısı enerjisi. Bunların gösterilebilmesi için, işlemlerin bilgi kartlarına turuncu tonlarında üç yeni satır eklenmiştir (Şekil 4.2). Bu satırlar sırasıyla makinanın elektrik gücü kapasitesi (e-güç), vardiya başına elektrik enerjisi tüketimi (e-enerji) ve ısı enerjisi tüketimidir (ısı-enerji). Makinaların elektrik gücü kapasiteleri, makinaların özelliklerini gösteren veri kağıtlarından tespit edilmiştir. Elektrik enerjisi tüketimleri ise motorların çalıştırıldığı devirlerdeki güç tüketiminin (motor veri kağıtlarından elde edilmiştir) motorun bir vardiyadaki kullanım süresinin çarpılması ile bulunmuştur. Isı enerjisi tüketimi ise, makinanın ısınmasını sağlayan kazanın kömür tüketimi ve kömürün ısı değeri çarpılarak bulunmuştur. İşletmede bulunan toplam 8 adet sıcak pres bir adet ortak kazan ile ısıtıldığından, kazanın enerji tüketimi sekize bölünerek bir sıcak pres başına düşen tüketim belirlenmiştir.

Ayrıca değer haritasının alt kısmına, enerji tüketimini gösteren kırmızı renkli ve enerji verimliliği artırma potansiyelini gösteren yeşil renkli çizgiler eklenmiştir (Şekil 4.2). Çalışmanın gerçekleştirildiği sırada, işletme pilot üretim yapıldığından, geçmiş verilere dayalı sağlıklı ölçümler ve analizler yapılamamıştır. Bu yüzden, mevcut durum değer akış haritasının en altına eklenen göstergelerde nicel veriler değil, 'düşük', 'orta' ve 'yüksek' nitelermeleri ile oluşturulan üç kademeli bir gösterim kullanılmıştır. Çalışmada ele alınan 5 sürecin ikisi yüksek enerji tüketimi ve bir tanesi de yüksek enerji verimliliği artırma potansiyeline sahip olarak öne çıkmışlardır. Bu tespitler, tablonun sağ alt köşesinde ilgili kutucuklarda belirtilmiştir. Yonga kurutma prosesi, 2m çapında ve 30m uzunluğunda ve kendi eksenini etrafında dönen silindirik şekilde bir fırın içerisinde gerçekleşir. Sistemin hareketi elektrik enerjisi ile sağlanırken ısıtılması için kömür kazanı kullanılmaktadır ve günlük ortalama ısı enerjisi kullanımını 1200kcal olarak tespit edilmiştir.



Şekil 4.2 : Mevcut durum enerji değer akış haritası.

Ayrıca sistemin yalıtımı ve kazan sistemi henüz son şekline getirilmediğinden, tasarruf potansiyeli yüksek durumdadır. Benzer şekilde sıcak pres işlemlerinde kullanılan hidrolik preslerde hem elektrik hem de ısı enerjisinin yoğun olarak kullanıldığı diğer bir sistemdir. Preslerin ısıtılmasını sağlayan kömür kazanı iyi tasarlanmış verimli bir kazan iken; preslerin ısıtılması için tabla ısıtma sisteminin seçilmiş olması kayıplara sebep olmaktadır. Bunun aksine kalıp ısıtma sisteminin tercih edilmesi durumunda tüketimin ciddi miktarda azaltılabileceği fakat gerekli dönüştürme işleminin yatırımının yüksek olduğu öğrenilmiştir.

Bu tür spesifik bir harita yardımı ile yöneticiler, enerji verimliliği artırma gayretlerinin nerelerde odaklanabileceğini kolayca tespit edebilirler. Haritanın altındaki kırmızı ve yeşil çizgiler, üretim sisteminin enerji kullanımının yalınlığı hakkında bilgi vermekte ve enerji verimliliği darboğazlarının konumunu belirlemeye yardımcı olmaktadır.

Yapılan uygulama çalışmasında hazırlanan mevcut durum E-DAH, yonga kurutma ve sıcak presleme aşamalarında değer üretmeyen enerji kullanımının yüksek olduğunu işaret etmiştir. Dolayısıyla, üçüncü aşamada geliştirilen senaryolar bu yüksek kullanımı azaltacak şekilde kurgulanmıştır.

4.3 Üçüncü Aşama: İyileştirme Senaryo Geliştirme ve Gelecek Durum Enerji Değer Akış Haritasının Oluşturulması

Senaryo geliştirme işlemi nedensel haritanın oluşturulması ile başlar. Nedensel haritalar üç temel bileşenden oluşur: nedensel kavram, nedensel bağlantı ve nedensel değer. Nedensel kavram bir özellik, bir sorun, bir etken veya bir değişken olabilir ve bir düğüm ile gösterilir. Nedensel bağlantı, hedefe yönlendirilmiş bir ok şeklindedir. Düğüm ve bağlantılar kullanılarak iki kavram arasında neden sonuç ilişkisi oluşturulur (Çınar ve Kayakutlu, 2010). Nedensel haritalar, uzmanların görüşlerini etkenler arası ilişkiler şeklinde ifade eder.

Yalın enerji verimliliği analizi için nedensel harita oluşturulmasında, Çizelge 4.1'in orta sütununda yer alan ve hem üretimin yalınlaşmasına hem de enerji verimliliğinin artırılmasına fayda sağlayabilecek yedi etken kullanılarak sekizinci etken olarak seçilen enerji verimliliği ile aralarındaki ilişki incelenmiştir. Dolayısıyla, uzmanlarla yapılan mülakatlarda değer yaratmayan enerji kullanımı (DYEK), yarı mamüllere

bağlı enerji (YMBE), fazla üretim (FÜ), hatalı üretim (HÜ), hücresele enerji kullanımı (HEK), enerji verimliliği kaizenleri (EVK), toplam üretken bakım (TÜB) ve enerji verimliliği (EV) ele alınmıştır. Enerji verimliliği ve yalın üretim kavramları arasındaki ilişkinin, önerilen metodun ve uygulama çalışmasının tam olarak anlaşılabilmesi için bu etkenler aşağıda açıklanmıştır.

Çizelge 4.1 : Yalın üretim ve endüstriyel enerji verimliliği araçlarının sınıflandırılması.

Yalın Üretim Araçları	Endüstride Yalın Enerji Kullanımı	Endüstride Enerji Verimliliği Teknikleri
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Değer ve değer haritası ➤ İrafların önlenmesi ➤ Takt süresi ➤ Kanban ve görselleştirme ➤ 5S ➤ Standart iş ➤ Çekme Sistemi ➤ Akış sistemi ve tek parça akışı ➤ Sürekli iyileştirme ve mükemmellik arayışı ➤ Süreç kaizenleri ➤ Değiştirme, ayarlama ve kurulum sürelerinin kısaltılması ➤ Arıza sürelerinin kısaltılması ➤ Hücresele üretim 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Değer yaratmayan enerji kullanımları ➤ Stoklara bağlı enerji ➤ Fazla üretimin ➤ Hatalı imalat ve düzeltme işlemlerine bağlı enerji kullanımının ➤ Fazla üretim ➤ Hatalı üretim ➤ Hücresele enerji kullanımı ➤ Enerji verimliliği kaizenleri ➤ Toptan üretken bakım 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Enerji yoğun süreçlerin belirlenmesi ➤ Enerji faturalarının analizi ➤ Teorik en az tüketimin belirlenmesi ➤ Anahtar performans göstergelerinin belirlenmesi ➤ Enerji verimliliği yüksek teknolojilere yatırım ➤ Enerji verimliliği iyileştirme teknikleri

- *Değer yaratmayan enerji kullanımı (DYEK):* Yalın düşünce kavramının çekirdeğinde yer alan değer kavramı, enerji tüketimini değerlendirmek için de kullanılabilir. Bir hammaddenin veya yarı mamülün, müşterinin istediği özelliklerde ürüne dönüştürülmesi (değerin yaratılması) sürecinde doğrudan veya dolaylı olarak enerji kullanılır. Söz konusu enerji kullanımı tüm israflardan arındırıldığında, sadece değer yaratmak için kullanılmış olur. Aksi durumda ise gereksiz (değer yaratmayan) enerji kullanımı gerçekleştiğinden müşteri talebinin karşılanması ötesinde sarfiyat gerçekleşir yani enerji israfı gerçekleşir. Örneğin, yalıtımı iyi yapılmamış bir fırının enerji tüketimi, değer yaratılması için gerekli olan miktarın ötesindedir ve tipik bir israf örneğidir. Ayrıca, müşteri için değer yaratmayan tüm işlemlerin gerçekleştirilmesinde harcanan enerji (ne kadar verimli kullanılmış olursa olsun)başı başına bir israftır. Düzenli bakımı ihmal edilen bir makinanın sebep olduğu hatalı imalat ve bu hatanın giderilmesi için harcanan fazladan enerji bu tür bir israftır.
- *Yarı mamüllere bağlı enerji (YMBE):* Genellikle çeşitli işletme ve üretim yönetimi sorunlarına dair bir önlem olarak ortaya çıkan yarı mamül stoğu, işletmenin nakit,

işgücü ve enerji gibi çeşitli kaynaklarının stoklanarak belli bir süre kullanım dışı kalmasına sebep olur. Özellikle enerji yoğun üretimin gerçekleştiği tesislerde yarı mamül stopu oluşturmak için kullanılan enerji hiçbir değer yaratmaz ve önlenmesi gereken bir tür israftır.

- *Fazla üretim (FÜ)*: İşletmelerin çekme sistemine göre çalışmasını hedefleyen yalın üretim için müşteri talebinden fazla olarak üretilen her ürün bir israftır. Ürünün müşteri tarafından satın alınıp alınmayacağı bilinmediğinden, işletme kaynakları bir belirsizlik ortamında kullanılmış olur. Fazladan üretim için kullanılan diğer kaynaklar gibi enerji de müşteri talep etmeden kullanıldığında bir israfa dönüşebilir.
- *Hatalı üretim (HÜ)*: Yalın üretim, bir ürünün bir kerede doğru biçimde üretilmesi esasına dayanır. Zira, doğru üretilmeyen yani hatalı ürünler fazladan kaynak kullanır ve bu hem işletme hem de müşteri için anlamsız ve önlenemez bir durumdur. Üretim esnasındaki hataların giderilmesi için yada hatalı ürünün yerine yenisinin üretilmesi için kullanılan enerji bir tür israftır; görsel kontrol ve 5S gibi yalın araçlar başta olmak üzere gerekli tedbirlerin alınmasıyla önlenemez.
- *Hücre sel enerji kullanımı (HEK)*: Hücre sel üretim, yalın üretimin özgün ve etkili araçlarından birisidir. Bir ürünün üretimi için gerekli ekipman gerekli ve yeterli olacak kadar bir alanda bir araya getirildiğinde, gereksiz taşımalar, koordinasyonsuzluk ve vakit kaybı gibi birçok israfın önüne geçilir. Benzer biçimde, imalat için gerekli doğrudan ve dolaylı (taşımaya, aydınlatma veya iklimlendirme gibi) enerji kullanımının da önüne geçilebilir.
- *Enerji verimliliği kaizenleri (EVK)*: Yalın düşüncenin etkinliğinin artında yatan etkenlerden birisi -ve belki de en önemli olanı- her seviyedeki çalışanların katılımının sağlanmasıdır. Bir prosesin iyileştirilmesi, bir ürünün geliştirilmesi veya israfların önlenmesi ile ilgili çalışmalarda en alt seviyeden çalışanlarla yönetim temsilcilerinin bir araya gelerek gerçekleştirdikleri kaizen çalışmaları yalınlaşmanın sağlanması ve sürdürülebilmesi açısından oldukça önemlidir. Benzer biçimde, enerji tüketiminde israfın önlenerek enerji verimliliğinin artırılabilmesi için de kaizen çalışmaları düzenlenebilir.
- *Toptan üretken bakım (TÜB)*: Yalın düşüncenin başlıca hedeflerinden birisi, bir ürünün müşteri istediği anda üretilmesidir. Söz konusu şartın sağlanabilmesi içinse tüm teçhizatın her an hazır olması gerekir. Bunu yapabilmek için teçhizatın bakımlarının düzenli bir biçimde yapılması ve ağızlarının oluşmadan önlenmesi gereklidir. Bakım işlemlerinin düzgün ve düzenli yapılması, makinaların enerji verimliliği açısından da kritiktir. Kazan, fırın ve elektrik motoru gibi araçların enerji tüketimleri düzenli bakımlarla kontrol altında tutulabilir. Ayrıca makinalarda oluşan küçük sorunlar (şaft hizasının bozulması gibi) üretimin aksaması veya makine

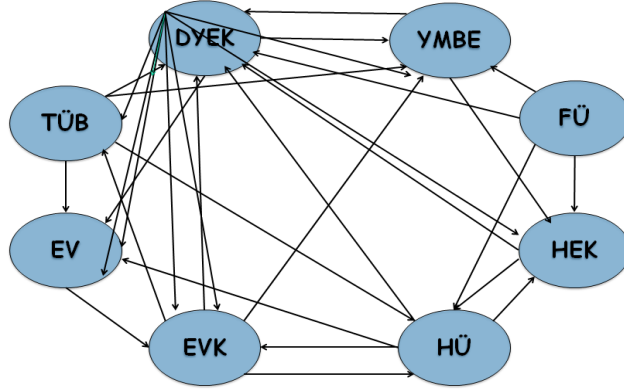
ömrünün kısalması gibi sonuçlarının yanısıra enerji verimliliğinin düşmesine de sebep olabilir.

Yukarıda tanımlanan etkenler, oluşturulacak nedensel haritanın düğümlerini teşkil etmektedir. Nedensel haritalarda bulunan diğer bir öge ise, etkenler arası ilişkileri gösteren bağlantı oklarıdır. Söz konusu bağlantıların oluşturulmasında ilk adım, etkenler arası ilişkiyi gösteren tablonun oluşturulmasıdır. Bunun için işletmede çalışan toplam dokuz teknik eleman, mühendis ve yönetici ile eğitim durumlarına bağlı olarak sözlü veya yazılı anket yapılmıştır. Ankete katılanlardan, etkenler arasındaki ilişkiyi pozitif (+1 ile gösterilen), negatif (-1 ile gösterilen) veya nötr (0 ile gösterilen) olarak değerlendirmeleri istenmiştir. Her bir ilişki için verilen cevapların modu alınarak bulunan sonuçlar çizelgeleştirilmiştir (Çizelge 4.2). Oluşturulan çizelgede, son sütun üzerinde yer alan etkenlerin, üst satır üzerindeki etkenlerle etkileşimi için bulunan sonuçlar gösterilmiştir.

Çizelge 4.2 : Etkenler arası etkileşim tablosu.

	DYEK	YMBE	FÜ	HÜ	HEK	EVK	TÜB	EV
DYEK	0	+1	0	0	0	+1	0	-1
MBE	+1	0	0	0	+1	0	0	0
FÜ	+1	+1	0	+1	+1	0	+1	0
HÜ	+1	0	0	0	+1	+1	0	-1
HEK	-1	0	0	-1	0	0	0	+1
EVK	-1	-1	0	-1	0	0	+1	+1
TÜB	-1	-1	0	-1	-1	-1	0	+1
EV	-1	-1	0	0	0	-1	0	0

Çizelge 4.2’de görüldüğü üzere, değer yaratmayan enerji kullanımı yarı mamüllere bağlı enerji miktarını ve enerji verimliliği kaizenlerini pozitif olarak etkilemekte, yani DYEK arttıkça, YMBE ve EVK artmakta fakat enerji verimliliği düşmektedir. Yarı mamüllere bağlı enerji arttıkça değer yaratmayan enerji kullanımı ve hücrel enerji kullanımı artmaktadır. Bu firmada, fazla üretimin enerji verimliliğine etkisi olmadığı görülürken, hatalı üretimin enerji verimliliğini düşürdüğü göze çarpmaktadır. Hücrel enerji kullanımı, enerji verimliliği kaizenleri ve toplam üretken bakımın enerji verimliliğini artıran araçlar olduğu tespit edilmiştir. Öte yandan, enerji verimliliği ile değer yaratmayan enerji kullanımlarının (hatalı üretim ve hücrel enerji kullanımı hariç) ters orantılı olduğu ortaya çıkmıştır. Etkenlerin ve etkenleri arası etkileşimin belirlenmesi nedensel harita oluşturulmuştur (Şekil 4.3).

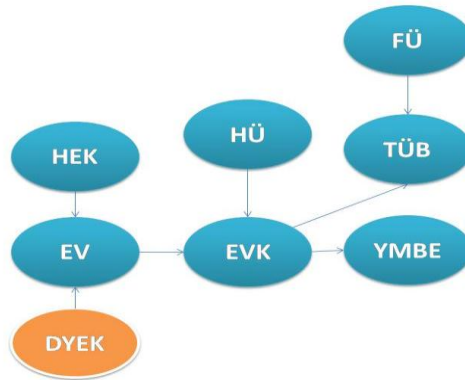


Şekil 4.3 : Nedensel harita.

Nedensel harita üzerinde ilişkileri çalıştıktan sonra, Bayes Ağı'nı oluşturma aşamasına geçilmiştir. Nedensel harita Bayes Ağına dönüştürülürken şu adımlar uygulanmıştır (Çınar ve Kayakutlu, 2010):

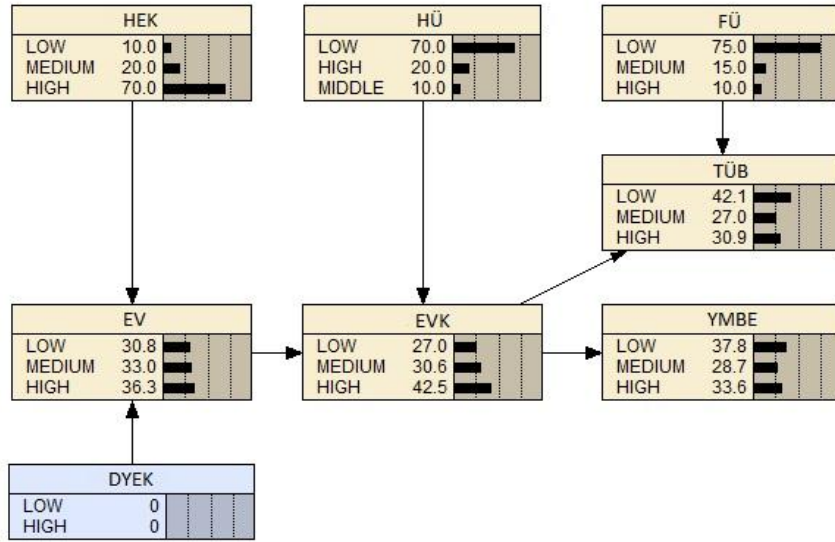
- i) Aralarında ilişki bulunmayan düğümler arasındaki oklar kaldırılmıştır
- ii) Doğrudan bağlantılar yada iki etkeni bir başkası aracılığıyla birleştiren bağlantılar kaldırılmıştır
- iii) Benzer bağlantılar birleştirilmiştir
- iv) Nedensel harita üzerindeki belirleyici (deterministik) etkenler kaldırılmıştır.

Uygulama çalışması kapsamında uygulanan dönüştürme işleminde, en az bir farklı etken ile etkileşim halinde bulunan etken sayısı az olduğu için sadece dolaylı bağlantılar kaldırılmıştır. Uygulama çalışmasında yonga kurutma işlemindeki değer yaratmayan enerji kullanımı olarak ortaya çıkan darboğaz etkeni, senaryoların oluşturulmasında kullanılacak Bayes Ağının karar düğümü olarak seçilmiştir (Şekil 4.4).



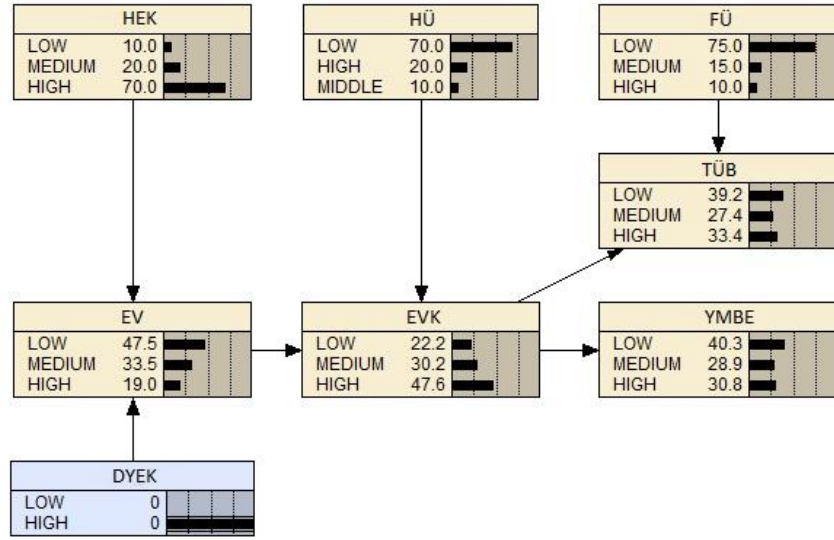
Şekil 4.4 : Bayes Ağı.

Bayes Ağı oluşturulduktan sonra, gelecek durum E-DAH oluşturulmasında kullanılacak senaryo analizlerinin gerçekleştirileceği NETICA yazılımına aktarılmıştır (Şekil 4.5). Etkenlerin farklı hallerine (low, medium, high) ait olasılık değerleri yapılan bir başka anket çalışması ile belirlenmiştir. Söz konusu ikinci ankette katılımcıların son beş yıldaki tecrübelerine dayanarak her bir etkenin hangi halde bulunacağını öngördükleri sorgulanmıştır.



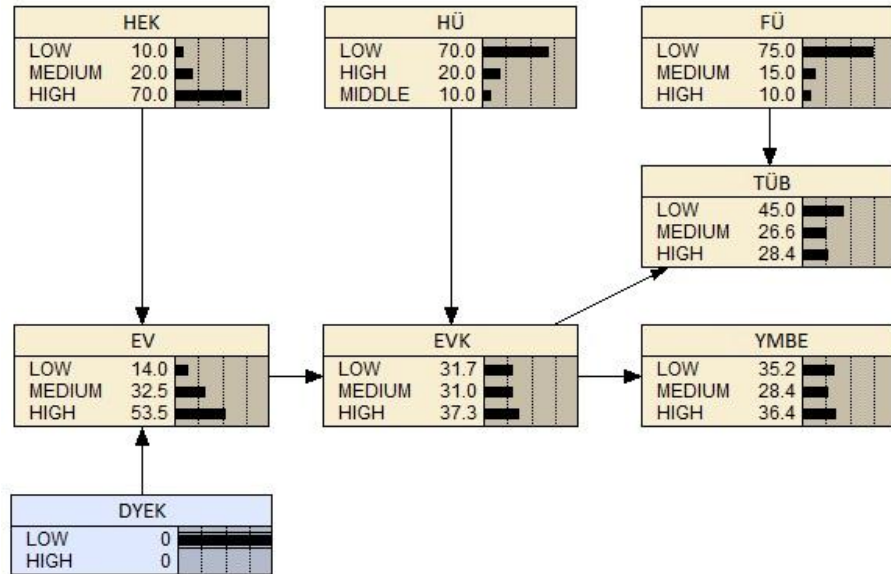
Şekil 4.5 : Bayes Ağı'nın Netica yazılımındaki başlangıç görüntüsü.

Elde edilen Bayes Ağı ve Netica yazılımı kullanılarak iki farklı senaryo ile ilgili hesaplamalar ve karşılaştırmalar yapılmıştır. Bayes Ağı'nda yer alan etkenlerin mevcut durumları, etkenin niteliğine bağlı olarak alt veya üst seviye olarak kabul edilmiştir. Örneğin fazla üretimin azaltılması hedeflendiğinden, mevcut durum yüksek olarak kabul edilmiştir. Enerji verimliliğinin ise yükseltilmesi hedeflendiğinden, mevcut durumu alt seviye olarak kabul edilmiştir. Birinci senaryo, değer yaratmayan enerji kullanımının (DYEK) mevcut seviyede kalması durumunda, başta enerji verimliliği (EV) olmak üzere diğer etkenlerin olasılık değerlerindeki değişim gözlenmiştir. Değer yaratmayan enerji kullanımını (DYEK) değeri en yüksek seviyede tutulduğunda (mevcut durumda kaldığında), enerji verimliliğinin düşük değerlerde (LOW) devam etme olasılığı %30.8'den %47.5'e yükselirken, yüksek değerlerde (HIGH) devam etme olasılığı %36.3'ten %19'a düşmektedir (Şekil 4.6). Diğer etkenlerdeki olasılık değişiminin ise oldukça küçük yüzdeler seviyesinde gerçekleştiği görülmektedir.



Şekil 4.6 : Birinci senaryoya ait Bayes Ağı.

İkinci senaryoda ise değer yaratmayan enerji kullanımının (DYEK) düşürülmesi yönünde tedbir alındığında, enerji verimliliği (EV) ve diğer etkenlerin olasılık değerlerindeki değişim gözlenmiştir. Değer yaratmayan enerji kullanımı (DYEK) değeri en düşük seviyede tutulduğunda (yatırımlarla azaltıldığında) ise, enerji verimliliğinin düşük değerlerde (LOW) devam etme olasılığı %14'e düşerken, yüksek değerlere (HIGH) ulaşması olasılığı %53.5'e yükselmektedir (Şekil 4.7). Diğer etkenlerdeki olasılık değişimi ise yine oldukça küçük seviyelerde kalmıştır.

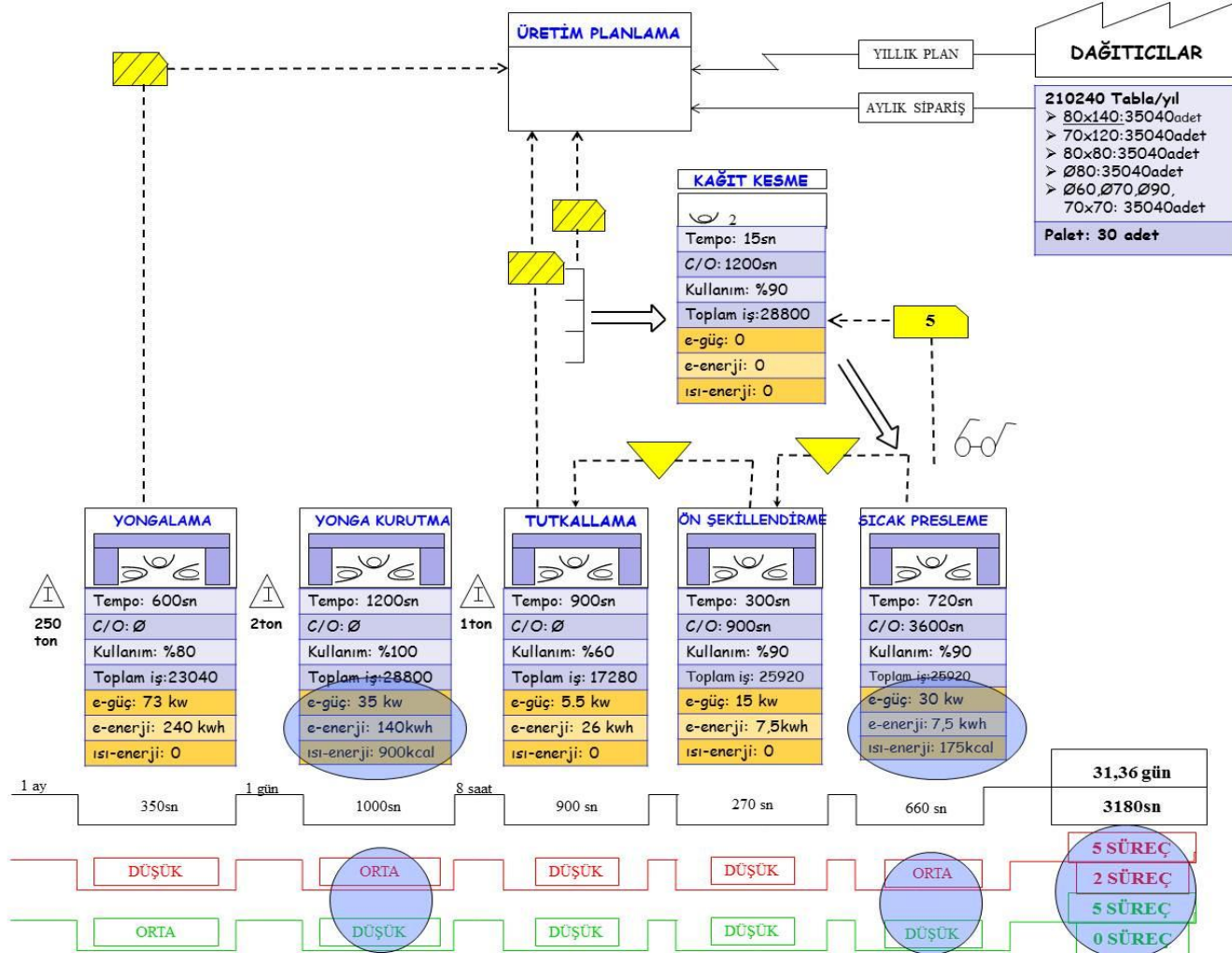


Şekil 4.7 : İkinci senaryoya ait Bayes Ağı.

Yukarıda açıklandığı üzere, değer yaratmayan enerji kullanımının mevcut seviyesinde devam etmesi ile alınacak tedbir ve yapılacak yatırımlarla düşürülmesi durumlarında, enerji verimliliğinin değişimi gözlenerek senaryo analizi yapılmıştır. Enerji verimliliğinde ciddi bir düşme beklentisi sonucu elde edilirken –beklendiği üzere- diğer değişkenler fazla etkilenmemiştir. Önerilen yöntem ile NETICA yazılımı üzerinde Bayes ağı bir kez oluşturulduktan sonra farklı etkenler için çeşitli senaryolar sınanabilir.

Senaryo oluşturma işlemleri tamamlandıktan sonra, gelecek durum E-DAH oluşturulmaya başlanabilir ki bunun için değer yaratmayan enerji kullanımını en aza indirecek (yada enerjinin verimli kullanılmasını sağlayacak) değişikliklerin harita üzerinde gösterilmesi gerekmektedir. Yonga kurutma ve sıcak presleme işlemlerinin değer yaratmayan enerji kullanımlarının azaltılmasına odaklanmış gelecek durum enerji değer akış haritası hazırlanmıştır (Şekil 4.8). gelecek durum enerji değer akış haritasında görüldüğü üzere, değer yaratmayan enerji kullanımı, bu süreçlerdeki ısı enerjisi kullanımını (kırmızı çizgi ile gösterilmiştir) azaltmıştır. Buna bağlı olarak ise enerji verimliliği artarken enerji verimliliği artırma potansiyelleri (yeşil çizgi ile gösterilmiştir) azalmıştır. Elde edilen bu yeni harita, üretim stratejisinde az sayıda değişimi öngörmektedir. Değişiklik gerçekleştirilecek nokta(lar)da teknoloji yatırımı, süreç iyileştirme yada çalışanların eğitilmesi gerekebilir. Yapılan uygulama çalışmasında, enerji verimliliği iyileşmelerin gerçekleştirilebilmesinin, büyük oranda teknoloji iyileştirmelerine bağlı olduğu görülmüştür. Uzman görüşlerine bağlı olarak elde edilen istatistiksel verilerin senaryo analizinde kullanılması ile elde edilen öngörüler de bu tespiti doğrular niteliktedir. Bu durum, gerekli önlemlerin alınması durumunda, tespit edilen noktalarda enerji tüketiminin azaltılabileceğini işaret etmektedir. Harita bize, enerji verimliliğini artırmak için üzerinde durulacak noktaları ve öngörülen hedefleri göstermektedir. Uygulama çalışması neticesinde işletmenin değer yaratmayan enerji kullanımını önleyerek %80 oranında enerji tasarrufu yapabileceği görülmüştür.

Yöntem önerisinin işlerliğini sınamak için yapılan uygulama çalışmasının senaryo analizi kısmında sadece tek bir değişken parametre kullanılmıştır. Farklı parametreleri ayrı ayrı deneyerek veya birden fazla parametreyi aynı anda deneyerek ve bunların sonuçlarını karşılaştırarak senaryo çalışması geliştirilebilir.



Şekil 4.8 : Gelecek durum enerji değer akış haritası.

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

5.1 Sonuç

Ülkemizde ve dünyada ekonomik ve politik krizlerle beraber sürdürülmekte olan enerji yönetimi, geleceğin en stratejik alanlarından birisi olarak öne çıkmaktadır. Zira bir yandan hem sorunlar hem de talep artarken diğer yandan kaynaklar hızla tükenmektedir. Bu durum insanlığı, enerji yönetiminde tüketim alışkanlıklarının kökten değişeceği bir yöne doğru sürüklemektedir. Bu doğrultuda en kritik kavramlardan birisi verimliliktir.

İmalat tesisleri, enerji kaynaklarına ulaşımın kolay olduğu ve enerji maliyetlerinin düşük olduğu dönemlerde geliştirilmiş ve bu süreçte enerji verimliliği göz önünde bulundurulmamış teknolojileri halen yaygın olarak kullanmaktadırlar. Bu gerçek, özellikle enerji yoğun sektörlerde ciddi israfların yaşandığını işaret etmektedir. Dolayısıyla, enerji verimliliği çalışmalarının yoğunlaşabileceği en önemli alanlardan birisi endüstridir. Bu durum hem sektörün kendisi hem de dünya kaynaklarının sürdürülebilir biçimde kullanılabilmesi için oldukça kritiktir.

İmalat tesislerinde enerji verimliliği iyileştirmeleri yapmak ise oldukça karmaşık bir karar sürecini beraberinde getirir. İyileştirmelerin doğrudan maliyetlerinin yanı sıra iş kayıpları, gerekli eğitimler ve olası riskler göz önünde bulundurulduğunda sağlanacak tasarruf oranları, çevresel ve ekonomik faydalar genellikle tam olarak örtüşemeyebilmektedir. Dolayısıyla enerji verimliliği iyileştirmelerinin bütüncül bir bakış açısıyla gerçekleştirilmesi gereklidir. Bu bakış açısını sağlayacak yaklaşımlardan birisi yalın düşünce iken bunu mümkün kılacak araçlardan birisi de değer akış haritalarıdır.

Bu tez çalışması kapsamında, değer akış haritalarının imalat şirketlerinde enerji verimliliği çalışmaları kapsamında kullanımı incelenmiştir. Yalın düşünce kavramının beraberinde getirdiği israf önleyici yaklaşımlar, değer akış haritalarının bütüncül bakış kabiliyeti ile birlikte düşünüldüğünde, enerji yönetimi için de uygun bir araç olarak ortaya çıkmaktadır. Değer akış haritalamanın kritik adımı olan,

gelecek durum haritasının oluşturulmasında farklı alternatiflerin değerlendirilmesi zorunluluğu baş göstermiş; bunun aşılması için Bayes Ağları kullanılmıştır.

Sonuçta ise ortaya, enerji israflarının tespit edilmesini, ilgili iyileştirme noktalarının seçilmesini, bu süreçte işletmenin geçmiş döneme ait verilerinin yanısıra çalışanlarının bilgi birikimini ve sektör uzmanlarının görüşlerinden faydanılmasını mümkün kılan bir yol haritası ortaya çıkmıştır. Geliştirilen akışın işlerliği, bir uygulama çalışması ile sınanmış ve pratik ve etkili bir yöntem olduğu tespit edilmiştir.

5.2 Öneriler

Genel anlamda enerji verimliliği ve yalın düşünce disiplinlerinin birlikte kullanılabilmesi ve özel anlamda da bu tez çalışmasında önerilen metodun geliştirilebilmesi için geliştirilen öneriler aşağıda sunulmuştur.

- Kaynaklar kısıtlı olduğunda, özellikle yüksek bütçeli yatırımlara karar vermek güçleşir. İşletmelerin yaptıkları bu tür yatırımların karşılıklarını almaları çoğu kez hayati önem taşır. Dolayısıyla riskin azaltılabilmesi için faydaların artırılması kilit önem kazanır. Enerji verimliliğinin artırılması için yapılacak yatırımlar da bu genel işletme ilkelerine tabidir. Geliştirilen yöntemin başlangıç noktası enerji verimliliği olduğu için, bu çalışmada bu eksende durulmuştur. Halbuki değer akış haritaları üretim süreçlerinin iyileştirilmesi için kullanılan araçlar olduğundan, etkileşimli analiz yapılarak, senaryo analizi ile tespit edilen enerji verimliliği iyileştirmelerinin, üretim sürecine etkisi de kolaylıkla gösterilebilir. Bunun için ise üretim süreci üzerinde daha fazla durulmalıdır. Dolayısıyla, yapılacak ileri çalışmalarda, enerji verimliliği çalışmalarının işletmeye sağladığı diğer tüm faydalar tespit edilmeli ve gelecek durum haritası üzerinde daha kapsamlı gösterilebilir.
- İşletmelerin varoluş amacı para kazanmak olduğundan, yapılan tüm iyileştirmelerin amacı da kazancın artırılmasını gerekli kılmaktadır. Dolayısıyla, herhangi bir alanda iyileştirme yapılmak istendiğinde karar vermek için elimizde ekonomik göstergeler bulunmalıdır. Bu çalışmada yapılan basit uygulama çalışması ile önerilen yöntemin işlerliği gösterilmiştir fakat işletmelerde kullanılabilmesi için, ekonomik analiz ile de desteklenmektedir. Bu doğrultuda gündeme gelebilecek bir husus yalın düşüncenin muhasebe alanında getirdiği açılımlardan biri olan faaliyet tabanlı maliyetlendirmenin, enerji muhasebesi için kullanımınıdır. Çalışmada önerilen

yöntem, bu tür bir ekonomik analiz yöntemi ile desteklenirse, gerçek hayatta kullanılabilir hale gelebilir.

- Kapsamı ve yöntemi ne olursa olsun, enerji verimliliği çalışmaları için enerji muhasebesi kayıtları oldukça kritiktir. Geçmiş yıllara dayalı bu verilerin, hava durumundaki ve toplam üretimdeki değişimlere bağlı olarak gösterdikleri dalgalanmalar analiz edilmeden, enerji verimliliği iyileştirme çalışmalarının sağlayacağı faydalar sağlıklı biçimde öngörülemez. Yapılan uygulama çalışmasında bu tür verilere ulaşılamaması, nicel verilerin kullanımını kısıtlamıştır. Önerilen yöntem, bu tür verilere sahip bir işletmede uygulanarak geliştirilebilir.
- Yalın düşünce uygulamalarının başarıya ulaşmasında kritik etkenlerden birisi paydaş ilişkileridir. Çoğu yalınlaşma çalışması, tedarikçilerin ve müşterilerinin süreçlerinde de yalınlaşmayı gerekli kılar. Benzer biçimde enerji verimliliği çalışmalarında da bu etkenden faydalanılabilir. İşletmenin içsel enerji verimliliğini artırmasının yolu, paydaşlarının süreçlerinin iyileştirilmesinden geçebileceği unutulmamalıdır. Bu durumda, bu çalışmada kullanılan değer akış haritalarının tedarikçi süreçlerini de kapsayacak şekilde geliştirilmesi gerekli olacaktır.

Bu tez çalışmasında önerilen yöntem üretim uzmanlarının, enerji verimliliği uzmanlarının ve işletme yöneticilerinin disiplinler arası çalışma ve sürdürülebilirlik adına yeni bir bakış açısı kazanmasını sağlayacaktır.

6. KAYNAKLAR

- Abbas, Z., Khaswala N., Irani S.** (2001). Value network mapping (VNM): visualization and analysis of multiple flows in value stream maps. In Proceeding of the Lean Management Solutions Conference, St. Louis, MO, September 10-11
- Abdulaziz E.A., Saidur R., Mekhilef S.** (2011). A review on energy saving strategies in industrial sector. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15, pp. 150-168.
- Abdulmalek F.A., Rajgopal J.** (2007). Analyzing the benefits of lean manufacturing and value stream mapping via simulation: a process sector case study. *International Journal of Production Economics*, 107, pp. 223-236.
- Akçaoğlu Ö.** (2012). Değer akış haritalarında belirlenen darboğazların çözümü için Bayes Ağları ile senaryo üretimi: çamaşır makinası fabrikasında bir uygulama, (*Yüksek Lisans Tezi*), İTÜ Endüstri Mühendisliği, İstanbul, Türkiye
- Antony J.** (2011). Six sigma vs lean: some perspectives from leading academics and practitioners. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 60, pp. 185-190.
- Ben-Gal I.** (2007). Bayesian Networks. *Encyclopedia of Statistics in Quality & Reliability*, Ruggeri F., Faltin F. & Kenett R. (eds.), Wiley & Sons.
- Bhasin, S. and Burcher, P.** (2006). Lean viewed as a philosophy. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 17(1), pp. 56-72.
- Bilgin A.** (2006). Kazanlarda enerji verimliliği., *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 95, pp. 13-18.
- Bunse K., Vodicka M., Schönsleben P., Brilhart M., Ernst F. O.** (2009). Integrating energy efficiency performance in production management – gap analysis between industrial needs and scientific literature. *Journal of Cleaner Production*, 19, pp. 667-679.
- Charniak, E.** (1991). Bayesian networks without tears. *AI Magazine*, 12(4), pp. 50-63.
- Cinar D., Kayakutlu G.** (2010). Scenario Analysis Using Bayesian Networks: A Case Study in Energy Sector. *Knowledge-Based Systems*, 23, pp. 267-276.
- Dahlgaard J.J and Dahlgaard-Park S.M.** (2006). Lean production, six sigma, quality, TQM and company culture. *The TQM Magazine*, 18(3), pp. 263-281.
- Frey, B.J.** (1998). *Graphical Models for Machine Learning and Digital Communication*, MIT Press.

- Gurumurthy A., Kodali R.** (2011). Design of lean manufacturing systems using value stream mapping with simulation. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 22 (4), pp. 444-473.
- Haque B., James-moore M.** (2004). Applying lean thinking to new product introduction. *Journal of Engineering Design*, 15 (1), pp. 1-31.
- Heckerman D.** (2008). *A Tutorial on Learning with Bayesian Networks*. Dawn E.Holmes and Lakhmi C. Jain (Eds.), *Innovations in Bayesian Networks: Theory and Applications*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Heckerman D., Geiger D., Chickering D.M.** (1995). Learning Bayesian Networks: The Combination of Knowledge and Statistical Data. *Machine Learning*, 20, pp. 197-243.
- James-Moore, S.M., and Gibbons, A.** (1997). Is Lean Manufacture Universally Relevant? An Investigative Methodology. *International Journal of Operations & Production Management*, 17 (9), pp. 899-911.
- Jones BJ, Jenkinson I, Yang Z, Wang J.** (2010). The use of Bayesian network modelling for maintenance planning in a manufacturing industry. *Reliability Engineering & System Safety*, 95, pp. 267-277.
- Karakoç T.H. (Ed.)** (2011). *Sanayide Enerji Ekonomisi*, Anadolu Üniversitesi yayını no:2578.
- Kayakutlu G., Şatoğlu Ş.I., Durmuşoğlu B.** (2007). Waste detection and optimisation by applying bayesian causal map technique on value stream maps. In 19th International Conference on Production Research, Valparaiso, Chile.
- Kaypmaz A., Engin B.** (2009). Enerji verimliliği ve tasarrufu açısından kompanzasyon ve enerji kalitesi çalışmaları. *EMO III. Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu Bildirileri*, Kocaeli, Türkiye.
- Keskin C., Kayakutlu G., Asan U.** (in press). *Value Stream Maps for Industrial Energy Efficiency*. In *Assesment and simulation tools for sustainable energy systems: Theory and application*, Ed. Fausto Cavalieri, Springer.
- Kilpatrick J.** (2003). *Lean Principles*. Adres: http://mhc-net.com/whitepapers_presentations/LeanPrinciples.pdf
- Kissock J. K., Eger C.** (2009). Measuring industrial energy savings. *Applied Energy*, 85, pp. 347-361.
- Kjærulff U.B., Madsen A.L.** (2008). *Bayesian Networks and Influence Diagrams: A Guide to Construction and Analysis*, Springer
- Küçükçalı R.** (2002). Buhar Sistemlerinde Enerji Tasarrufu. *Türk Tesissat Mühendisleri Derneği Dergisi*, 38, pp. 10-18.
- Lasa I.S., Laburu C.O., Vila R.D.** (2008). An evaluation of the value stream mapping tool. *Business Process Management Journal*, 14 (1), pp. 39-52.
- Melton T.** (2005). The benefits of lean manufacturing: what lean thinking has to offer the process industries. *Chemical Engineering Research and Design*, 83 (A6), pp. 662-673.

- Meral M.E., Teke A., Tümay M.** (2009). Elektrik tesislerinde enerji verimliliği. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 14 (1).
- Nadkarni S., Shenoy, P.P.** (2004). A Causal Mapping Approach to Constructing Bayesian Networks. *Decision Support Systems*, 38 (2), pp. 259-281.
- Nagesha N.** (September 2008). Role of energy efficiency in sustainable development of small-scale industry clusters: an empirical study. *Energy for Sustainable Development*, XII (3).
- Özçelik F. ve Ertürk H.** (2010). Yalın üretim işletmeleri için değer akış yönetimi ve değer akış maliyetlendirmesi (DAM). Uludağ Üniversitesi, *İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 29 (2), pp. 51-84.
- Papadopoulou T.C. and Özbayrak M.** (2005). Leanness: experiences from the journey to date. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 16 (7), pp. 784-807.
- Pavnaskar S.J., Gershenson J.K., Jambekar A.B.** (2004). Classification scheme for lean manufacturing tools. *International Journal of Production Research*, 41 (13), pp. 3075-3090.
- Pearl, J.** (1988). *Probabilistic Reasoning in Intelligent Systems: Networks of Plausible Inference*, Morgan Kaufmann, San Mateo, CA.
- Pearl, J., Russel, S.** (2001). Bayesian Networks, in *Handbook of Brain Theory and Neural Networks*, M. Arbib, (ed.), MIT Press, Cambridge, pp. 157–160.
- Rother M., Shook J.** (1999). *Learning to See*, The Lean Enterprise Institute, Inc., Brookline, MA.
- Russell, S. J. & Norvig, P.** (2002). *Artificial Intelligence: A Modern Approach*, 2 edn, Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ.
- Shah R., Ward P. T.,** (2007). Defining and developing measures of lean production. *Journal of Operations Management*, 25, pp. 785-805.
- Singh B., Sharma S.K.** (2009). Value stream mapping as a versatile tool for lean implementation: an Indian case study of a manufacturing firm, *Measuring Business Excellence*, 13 (3), pp. 58-68.
- Speigelhalter D.J., Dawid A.P., Lauritzen S.L., and Cowell, R.G.** (1993). Bayesian analysis in expert systems. *Statistical Science*, 8 (3), pp. 219-247.
- Steck, H., Tresp, V.** (1999). Bayesian belief networks for data mining, *Proceedings of the 2nd Workshop on Data Mining und Data Warehousing als Grundlage moderner entscheidungsunterstuetzender Systeme*, DWDW99, Sammelband, Universität Magdeburg
- Thollander P., Danestig M., Rohdin P.** (2007). Energy policies for increased industrial energy efficiency: evaluation of a local energy programme for manufacturing SMEs. *Energy Policy*, 35, pp. 5774-5783.
- Türkan Ö.U.** (2010). Üretimde yalın dönüşümün temel performans kriterleri. *BAÜ Fen Bil. Enst. Dergisi*, 12(2), pp. 28-41.
- Vorobev, N.** (1963). Markov measures and Markov extensions. *Theory of Probability and Applications*, 8, pp. 420–429.

Womack J.P., Jones D.T. (Aralık 2007). *Yalın Düşünce*. Optimist Yayın Dağıtım, İstanbul, Türkiye.

Url-1<http://www.kto.org.tr/d/file/enerji_verim_rapor.pdf>, alındığı tarih 11.11.2012

Url-2<http://www.unido.org/fileadmin/user_media/Publications/IDR/2011/UNIDO_FULL_REPORT_EBOOK.pdf>, alındığı tarih 11.11.2012

Url-3<http://www.enerji.gov.tr/EKLENTI_VIEW/index.php/raporlar/raporVeriGir/62173/2>, alındığı tarih 11.11.2012

Url-4<<http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2011/10/20111027-5.htm> >, alındığı tarih 13.11.2012

Url-5<<http://www.epdk.gov.tr/index.php/elektrik-piyasasi/mevzuat?id=140>>, alındığı tarih 11.11.2012

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Cem KESKİN

Doğum Yeri ve Tarihi: Sinop, 1984

Adres: Feneryolu Mah.Kızıltoprak İstasyon Cad. Bahar Apt. No:13/5 Kadıköy/İstanbul

Lisans Üniversitesi: Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fizik Bölümü

Yayın Listesi:

Keskin C., Kayakutlu G., Asan U., 2012: Value Stream Maps for Industrial Energy Efficiency, in Assesment and simulation tools for sustainable energy systems: Theory and application, Ed. Fausto Cavalieri, in press, Springer

