

Kırıkkale University International Journal of Engineering Research and Development

International Peer Reviewed Journal
e-ISSN: 1308-5514



Volume: 9
Issue: 1

JANUARY, 2017

Kırıkkale Üniversitesi
Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi
Uluslararası Hakemli Dergi

Cilt: 9 Sayı:1 Ocak 2017



MÜHENDİSLİK
FAKÜLTESİ

KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ / KIRIKKALE UNIVERSITY

**Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi
International Journal of Engineering Research and Development**

Sahibi / Owner

Ekrem YILDIZ
Rektör / Rector

Editör/Editor

Ali ERİŞEN
Dekan / Dean

Yardımcı Editörler / Associate Editors

Ertuğrul ÇAM
Murat LÜY

Alan Editörleri / Area Editors

Adnan AKTEPE - Endüstri Mühendisliği / Industrial Engineering
Tolga EREN - Elektrik-Elektronik Mühendisliği / Electrical and Electronics Engineering
Atilla ERGÜZEN - Bilgisayar Mühendisliği / Computer Engineering
İlker KALKAN - İnşaat Mühendisliği / Civil Engineering
Hakan ARSLAN - Makine Mühendisliği / Mechanical Engineering

Yazışma Adresi /Address

Kırıkkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi 71450-
Kampüs- Kırıkkale- TÜRKİYE
<http://ijerad.kku.edu.tr>
ijerad@kku.edu.tr
Tel : +90-318-357-42 42 (1001)
Fax: +90-318-357-24 59

ISSN - Online: 1308-5514

Ocak / January 2016

Kapak Tasarım / Graphics Design : Hüseyin AYDİLEK

Danışma Kurulu / Editorial Board
(Alfabetik Sıralama / Alphabetical)

- A. Serdar YILMAZ Sütçü İmam Üniversitesi
Ahmet Kürşat TÜRKER Kırıkkale Üniversitesi
Ali Payıdar AKGÜNGÖR Kırıkkale Üniversitesi
Ayten ÇELEBİ KESKİN Kırıkkale Üniversitesi
Burak BİRGÖREN Kırıkkale Üniversitesi
Hasan Şakir BİLGE Gazi Üniversitesi
Hüseyin CANBOLAT Yıldırım Beyazıt Üniversitesi
İbrahim UZUN Kırıkkale Üniversitesi
İlhami DEMİR Kırıkkale Üniversitesi
İlhan KOCAARSLAN İstanbul Üniversitesi
İsa NAVRUZ Ankara Üniversitesi
M. Cengiz TAPLAMACIOĞLU Gazi Üniversitesi
M. Tunay GENÇOĞLU Fırat Üniversitesi
Mehmet Ali AKÇAYOL Gazi Üniversitesi
Metin DAĞDEVİREN Gazi Üniversitesi
Mustafa YİĞİTOĞLU Kırıkkale Üniversitesi
Mustafa TÜRK Kırıkkale Üniversitesi
Nihat İNANÇ Kırıkkale Üniversitesi
Osman YILDIZ Kırıkkale Üniversitesi
Ömer Muhammet SOYSAL Louisiana State University
Recep ÇALIN Kırıkkale Üniversitesi
Süleyman ERSÖZ Kırıkkale Üniversitesi
Tamer EREN Kırıkkale Üniversitesi
Ümit Sami SAKALLI Kırıkkale Üniversitesi



MÜHENDİSLİK
FAKÜLTESİ

KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ / KIRIKKALE UNIVERSITY

Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi
International Journal of Engineering Research and Development

Amaç

Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi mühendisliğin tüm disiplinlerinde çalışılmış olan orijinal ve yüksek kalitedeki araştırma sonuçlarını basan ve teşvik eden bir araştırma dergisidir. Akademisyenler, bilim adamları, üniversitelerdeki araştırmacılar ve ilgi duyan herkesin çalışmaları basım için düşünülebilir.

Aim

International Journal of Engineering Research and Development is a peer-reviewed international research journal aiming at promoting and publishing original high quality research in all disciplines of engineering sciences and technology. Manuscripts are invited from academicians, scientists, researchers of universities and industry and for all interested people for publication consideration.

Araştırma Alanı

Mühendislik Teorisi ve Uygulamaları

Research Highlights

Engineering Theory and Applications

Kapsam

Derginin ilgi alanlarında, sınırlama olmaksızın, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Makina Mühendisliği, İnşaat Mühendisliği, Bilgisayar Mühendisliği ve Endüstri Mühendisliği bulunmaktadır.

Scope

Areas includes (but not limited to) all issues in Electrical&Electronics Engineering, Mechanical Engineering, Civil Engineering, Computer Engineering and Industrial Engineering.

Yazarlara Bilgi

Ayrıntılı bilgi için lütfen <http://ijerad.kku.edu.tr/> adresini ziyaret ediniz.

Authors Information

For detailed information please visit <http://ijerad.kku.edu.tr>

İÇİNDEKİLER / CONTENTS

- 1 Genetik Algoritmayla Bindirmeli Tip Kaynaklı Bağlantılarda Optimum Kaynak Kalınlığı Seçimi**
The Selection of Optimum Weld Thickness in Overlapped Types Of Welded Joints Using Genetic Algorithms
Tamer BAŞKAL, Aşır ÖZBEK **1-10**
- 2 CRISPR-Cas İmmün Sisteminin Biyolojisi, Mekanizması ve Kullanım Alanları**
Biology, Mechanism and Applications of CRISPR-Cas Immune System
Zehra GÜN GÖK, Beste ÇAĞDAŞ TUNALI **11-22**
- 3 Değiştirilmiş Hata Türü ve Etkileri Analizi Yöntemi ile Tedarikçi Seçimi Uygulaması**
Supplier Selection Application with Revised Failure Mode and Effect Analysis
Ercan ŞENYİĞİT, Harun EKİNCİ **23-36**
- 4 Elektrikli Araçlar İçin Fırçasız Doğru Akım Motorlarında Değiştirilebilir Manyetik Alan Uygulaması**
Commutable Magnetic Field on Brushless Direct Current Motor for Electrical Vehicle
Hasan TİRYAKİ, Alper Sefa ÇAĞIŞLAR, Abdurrahim AKGÜNDOĞDU, İlhan KOCAARSLAN **37-45**



Rüzgar ve Güneş Enerjisi Sistemlerinin Fizibilite Analizlerinin Web Tabanında Gerçekleştirilmesi

Implementation of Feasibility Analysis of Wind and Solar Energy on the Web Base

Yağmur ARIKAN*¹, Ertuğrul ÇAM¹

¹Kırıkkale Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, 71450 KIRIKKALE

Başvuru/Received: 29/08/2016

Kabul/Accepted: 16/11/2016

Son Versiyon/Final Version: 15/01/2017

Öz

Bu çalışmada, rüzgâr ve güneş enerji sistemlerinin potansiyel, enerji üretimi ve ekonomik analizlerini yapmak için web tabanında bir yazılım hazırlanmıştır. Programda, örnek uygulama bölgesi olarak Amasra seçilmiştir. Bölgenin saatlik rüzgâr hızı verileri, Rayleigh istatistiksel yöntemi kullanılarak detaylı olarak incelenmiştir. Potansiyelin yatırım için uygunluğu görüldükten sonra bölgeye 600 kW'lık bir rüzgâr türbini kurulduğu takdirde bölgeden üretilecek rüzgâr enerji üretimi, türbinin kapasite faktörü, yatırımın geri ödeme süresi ve kar miktarı bulunmuştur. Üretilen temiz enerjinin çevreye katkıları sayısal olarak gösterilmiştir. Çalışmanın diğer kısmında, bölgenin aylık güneşlenme süreleri kullanılarak bölgeye 100 kWp kurulu güce sahip güneş paneli kurulduğu takdirde sistemden üretilecek güneş enerji üretim miktarı, yatırımın geri ödeme süresi ve kar miktarı bulunmuştur. Çalışmanın son kısmında, rüzgâr enerjisi ve güneş enerjisi verileri birleştirilerek, bölgeye hibrit enerji sistemleri kurulduğu takdirde, çeşitli senaryolar irdelenerek, üretilen enerji miktarları hesaplanmış ve yatırımın ekonomik analizi yapılmıştır. Bütün analizlerden elde edilen sonuçlara göre, hangi durumun bölge ve yatırımcı için daha kârlı olduğu araştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler

“Rüzgar ve güneş enerjisi, Rayleigh istatistiksel metodu, ekonomik ve emisyon analizi, web tabanlı yazılım.”

Abstract

In this study, a software has been prepared in web base to make potential, energy generation and economic analysis of the wind and solar energy systems. In the software, the region of Amasra was selected as an application area. Wind potential of the region is analyzed with Rayleigh statistical methods by using hourly wind speed data of region and it has been found suitable for investment. If wind turbine with 600 kW is set up in the region, the amount of wind energy generation from region, capacity factor of turbine, the pay-back period and the amount of profitability are found. The contribution of generated clean energy to the environment is shown numerically. In the other part of study, amount of energy has calculated that will be generated from solar panels, if the solar panels install in the region with power of 100 kWp by using the region's sunshine duration. Then, as in the first part of the study, the economic and emission analysis has made of the investment. In the last part of study, data of wind energy and solar energy have been created for combining various hybrid systems and other analyzes are repeated for these. According to results of analysis it is found that which case is more profitable for the region and investors.

Key Words

“Wind and solar energy, Rayleigh statistical method, economic and emission analysis, web base software”

1.GİRİŞ

Rüzgâr ve güneş enerjisi ülkemiz için en önemli yenilenebilir enerji kaynaklarıdır. Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) ülkemizin kara rüzgâr potansiyeli 48.000 MW olarak belirlenmiştir. Yine MGM tarafından 10 m yükseklikte yapılan ölçümlere göre yıllık rüzgâr ortalama hızı 2.54 m/sn ve rüzgâr gücü yoğunluğu 24 W/m² olarak belirlenmiştir (Makina Mühendisleri Odası, 2012), (Koç & Şenel, 2013). Rüzgâr enerjisinde olduğu gibi, ülkemizin 36-42 ° kuzey enlemleri ve 26-45° doğu boylamları arasında yer alması ve kutuplardan daha çok ekvatora yakın olması sebebiyle (ılıman kuşak) güneş enerjisi potansiyeli de yüksektir. Devlet Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nde mevcut bulunan ve 1966-1982 yıllarında ölçülen güneşlenme süresi ve ışınım şiddetinden yararlanarak Elektrik İşleri Etüt İdaresi tarafından yapılan çalışmaya göre Türkiye'nin ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2640 saat (günlük toplam 7.2 saat), ortalama toplam ışınım şiddeti 1.311 kWh /m²-yıl (günlük toplam 3.6 kWh /m²) olduğu tespit edilmiştir (Çanka Kılıç, 2015).

Her iki yenilenebilir enerji kaynağının potansiyellerinin yüksek olması, çevreye dost olması, devlet tarafından teşvik alması bu kaynakların yatırımları konusunda birçok çalışmanın mevcut olduğu göstermektedir. Rüzgâr ve güneş verilerinin anlık olarak değişmesi, enerji ve maliyet hesabındaki formüllerin bu değerlerden çok etkilenmesi ve yatırım fiyatlarının çok yüksek olması nedeniyle fizibilite çalışmalarının doğru analiz edilmesini gerekli kılmaktadır. Piyasada fizibilite çalışmasını gerçekleştiren birçok ticari program bulunmaktadır. Bu programlar incelendiğinde genelde sabit ekipmanlarla analizlerin gerçekleştirildiği, kullanıcıların kendi türbin veya güneş panellerinin değerlerini kullanmadıkları, özellikle rüzgâr potansiyelini belirlemede gerekli olan istatistiksel programların kullanılmadığı ve her ne kadar çevreye dost denilse de bu enerjilerin çevreye sağladıkları katkıları sayısal olarak gösteremedikleri fark edilmiştir. Yatırımcılar ticari programları kullanan proje ve danışmanlık şirketlerine yatırımların toplam maliyetinin yaklaşık %3-4'ünü ödemektedir. Rüzgâr enerji sistemlerinin maliyetleri yaklaşık 1kW için 900-1200 € iken, güneş enerjisi için bu rakam 1800 -2000 £ civarında olduğu ve kurulu güçleri düşünüldüğünde bu şirketlere ödenen maliyetin hiç de azımsanmayacak kadar büyük olduğu görülmektedir.

Bu durumlar düşünüldüğünde, bu çalışmada rüzgâr, güneş ve hibrit sistemlerin fizibilite analizi üzerine çalışılmıştır. Analizler web tabanında hazırlanmış, hazırlanan ekranın her kullanıcıya hitap edecek şekilde ve görsel olmasına dikkat edilmiştir. Yazılımdaki kaynağın verileri, yatırımcının sermaye durumu, ekonomik girdiler gibi sürekli değişken olan verileri kullanıcılar rahatlıkla değiştirebilecektir. Bu şekilde yatırımcılara ve akademisyenlere destek mekanizması sağlanmış, sanayi, küçük tüketici ve akademisyenlere çeşitli senaryoları deneme ortamına kavuşmuşlardır.

Web sayfası hazırlandıktan sonra örnek uygulama bölgesi olarak Batı Karadeniz bölgesinde yer alan Bartın ilinin küçük bir ilçesi olan Amasra seçilmiştir. Detaylı analiz yapmak için gerekli olan veriler bu bölgede bulunduğu için bu bölge seçilmiştir. Bölgenin 2012-2013 yılları arasındaki saatlik rüzgâr hızı verileri ve Rayleigh istatistiksel yöntemi kullanılarak bölgenin rüzgâr potansiyeli detaylıca incelenmiş, ölçek parametresi, bölgede en sık görülen rüzgâr hızı, enerji yoğunluğu, toplam enerji miktarı, enerji eldesine en çok katkı yapan rüzgâr hızı değerleri bulunmuştur. Yatırım için uygunluğu tespit edildikten sonra anma gücü 600 KW'lık bir rüzgâr türbiniyle bölgeye yatırım yapıldığında bölgeden üretilebilecek enerji miktarı ve türbinin kapasite faktörü bulunmuştur. Yatırımın fiyatı piyasa araştırması sonucu öğrenilip, bu yatırımın geri ödeme süresi, sermaye geri dönüş miktarı ve bugünkü değer yöntemleriyle çeşitli yönlerden ekonomik analizi yapılmıştır. Son olarak üretilen temiz enerjinin çevreye ve yatırımcıya sağlayacağı yararlar sayısal olarak ifade edilmiştir. Çalışmanın diğer kısmında, bölgenin aylık güneşlenme süreleri kullanmış ve 100 kWp güneş enerji sisteminin bölgeye kurulması durumunda rüzgâr enerjisindeki analizler tekrarlanmıştır. Çalışmanın son kısmında ise rüzgâr ve güneş verileri kullanılarak farklı güçlerdeki rüzgâr türbini ve güneş panelleriyle oluşturulan hibrit sistemler için analizler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar karşılaştırılmış ve bölge ve yatırımcı için en uygun seçenek bulunmuştur.

2. FİZİBİLİTE ANALİZLERİ

Bu çalışmada, fizibilite analizlerinde gerçekleştirilen analizler 4 ana başlıkta incelenebilir. Bunlar potansiyel analiz, enerji analizi, ekonomik analiz ve emisyon analizidir. Potansiyel analiz sadece rüzgâr verilerini ilerleyen yıllara dönük olarak gerçekleştirilmiştir.

2.1. Potansiyel Analiz

Bir bölgedeki rüzgâr potansiyelinin tam olarak belirlenebilmesi için bir yılda yapılan ortalama rüzgâr hızı verileri yeterli değildir. Sağlıklı bir hesaplama için bölgenin on yıllık rüzgâr hızı verisine ihtiyaç vardır. Yatırımcılar için bu süre uzun olduğundan bir yıllık rüzgâr verileri ve çeşitli istatistiksel metotlardan yararlanılarak bölgenin potansiyeli analiz edilmektedir. Bu yöntemlerden sık kullanılanları Weibull ve Rayleigh dağılımlarıdır

1930 yılında İsveçli bir fizikçi olan W. Weibull tarafından bulunan Weibull olasılık yoğunluk fonksiyonu esneklik ve basitlik nedeniyle rüzgâr enerji hesaplamalarında sıklıkla kullanılmaktadır. Weibull olasılık yoğunluk fonksiyonu iki parametrelili olup şu şekilde ifade edilmektedir (Masters, 2004), (Patel , 1999).

$$f(v) = \frac{k}{c} \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} \exp\left[-\left(\frac{v}{c}\right)^k\right] \quad (1)$$

İfade, $f(v)$ gözlemlenen rüzgâr hızı olasılığı, k şekil parametresi ve c ölçü parametresidir. Kümülatif dağılım fonksiyonu ise aşağıdaki gibi ifade edilir (Patel , 1999), (Masters, 2004).

$$F(v) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{v}{c}\right)^k\right] \quad (2)$$

Weibull olasılık yoğunluk fonksiyonları içerisinde $k=2$ değerine sahip olan fonksiyon daha gerçekçi bir yapıya sahip olup, birçok bölgedeki rüzgâr karakteristiği ile örtüşmektedir. $k=2$ değerine sahip Weibull olasılık yoğunluk fonksiyonu Rayleigh olasılık yoğunluk fonksiyonu olarak adlandırılır. Rayleigh olasılık yoğunluk fonksiyonu sadece c ölçü parametresi ile rüzgâr hızını karakteristiğini belirlemek için yeterli ve hassas bir yöntemdir. Bu yüzden çalışmada rüzgâr verileri Rayleigh istatistiksel yöntemiyle analiz edilmiştir. Rayleigh olasılık yoğunluk fonksiyonu Eşitlik 3'deki gibi olup (Patel , 1999), (Masters, 2004)

$$f(v) = \frac{2v}{c^2} \exp\left[-\left(\frac{v}{c}\right)^2\right] \quad (3)$$

Rüzgar enerjisi potansiyeli analizlerinde ortalama rüzgar hızı eşitlik 4'deki gibi hesaplanır (Masters, 2004), (Patel , 1999)

$$V_m = \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n V_i^3\right)^{1/3} \quad (4)$$

Rayleigh olasılık yoğunluk fonksiyonu c şekil parametresi ile ortalama rüzgâr hızı arasındaki ilişkiyi (Masters, 2004), (Patel , 1999)

$$V_m \cong 0.886 c \quad (5)$$

veya

$$c = \frac{2}{\sqrt{\pi}} v_m \cong 1.128 v_m \quad (6)$$

denklemleri ile gösterebiliriz. Son denklemden sonucu 3 denkleminde yerine koyarak ortalama rüzgar hızı ile Rayleigh olasılık yoğunluk fonksiyonu 7 denklemleri ile belirlemek daha kolay bir yöntemdir (Masters, 2004), (Patel , 1999)

$$f_R(v) = \frac{\pi v}{2v_m^2} \exp\left[-\frac{\pi}{4} \left(\frac{v}{v_m}\right)^2\right] \quad (7)$$

Son denklemler kullanılarak herhangi bir rüzgâr hızının olasılık değeri, ortalama rüzgar hızı kullanılarak hesaplanır ve olasılık yoğunluk fonksiyonu oluşturulur. Rayleigh dağılımından yararlanılarak bölgede en sıklıkla görülen rüzgâr hızı ve enerji eldesine maksimum katkıda bulunan rüzgâr hızı değerleri kolaylıkla bulunabilir. $V_{f_{maks}}$, bölgedeki en sık görülen rüzgâr hızı olup ifade edip eşitlik 8'den, V_{Emaks} ise enerji eldesine en çok katkı yapan rüzgâr hızı olup eşitlik 9'dan bulunur (Mathew, 2006)

$$V_{Fmaks} = \sqrt{\frac{2}{\pi}} V_m \quad (8)$$

$$V_{Emaks} = \sqrt{\frac{2}{K}} = 2 \sqrt{\frac{2}{\pi}} V_m \quad (9)$$

Rayleigh dağılımı ile birim zaman aralığı için birim rotor kesit alanından üretilecek enerji yoğunluğu ve herhangi bir T zaman dilimi için, toplam enerji miktarı bulunabilir. Enerji yoğunluğunu ifade edip eşitlik 10'daki gibi, T zaman diliminde üretilecek toplam enerji miktarını ifade edip eşitlik 11'deki gibi bulunur. Eşitliklerdeki hava yoğunluğunu, rotor kesit alanını ve V_m ise ortalama hızını ifade eder (Mathew, 2006)

$$E_Y = \frac{3}{\pi} \rho_a V_m^3 \quad (10)$$

$$E_T = T E_Y = \frac{3}{\pi} T \rho_a V_m^3 \quad (11)$$

2.2. Enerji Analizi

2.2.1. Rüzgârdan Enerji Üretimi

Rüzgâr gücü ile rüzgâr hızının küpüyle doğru orantılı olup eşitlik 12 yardımıyla bulunur. Eşitlikteki P_R , rüzgâr gücünü, ρ hava yoğunluğunu, A rüzgâr türbinin kesit alanı, V_m ise ortalama rüzgâr hızını ifade etmektedir.

$$P_R = \frac{1}{2} \rho A v_m^3 \quad (12)$$

Rüzgârdan elde edilen enerji üretiminde bazı faktörlerin etkisi vardır. Bu faktörlerden bazıları ve etkileri aşağıda açıklanmıştır.

- **Yükseklik**

Hellman bağıntısı, rüzgar hızı ile yükseklik arasındaki ilişkiyi ifade etmektedir. Eşitlikteki V_o , H_o yüksekliğindeki rüzgâr hızını, V , H yüksekliğindeki rüzgâr hızını, α ise pürüzlülük katsayısını ifade etmektedir (Masters, 2004)

$$\left(\frac{v}{v_o}\right) = \left(\frac{H}{H_o}\right)^\alpha \quad (13)$$

Rüzgârdaki kinetik enerjiye önce mekanik enerjiye daha sonra elektrik enerjisine dönüştüren sistemlere rüzgâr türbini denmektedir. Rüzgâr türbinlerinin performansını belirleyen önemli özelliklerden birisi farklı rüzgâr hızlarında türbinin ürettiği güç değeridir. Rüzgâr ölçümlerinde elde edilen rüzgâr hızı değerleri ve ortalama rüzgâr hızı verisi ile bir bölgedeki belirli bir zaman aralığında esen rüzgâr hızlarının her birinin süresini bulmakta mümkündür. Rüzgâr türbini güç eğrisi ile rüzgâr hızlarının esme süresi gruplandırılıp bir araya getirilirse toplam elektrik enerjisi üretim miktarı bulunabilir (Masters, 2004).

$$E_{ruzgar} = \sum_{i=1}^{25} (Türbin\ gücü\ (i) * Rüzgar\ olasılığı\ (i) * Zaman) \quad (14)$$

Bir rüzgâr türbininin kurulacağı bölgedeki performansını gösteren önemli bir işaret kapasite faktörüdür. Kapasite faktörü eşitlik 15'de ifade edilmiştir (Masters, 2004), (Mathew, 2006).

$$K_F = \frac{\text{Üretilen toplam enerji}}{P_R \times 8760} \quad (15)$$

2.2.2. Güneşten Enerji Üretimi

Güneş enerjisinden elektrik üretiminde fotovoltaiklerden yararlanılmaktadır Fotovoltaikler sayesinde üretilen akım DC (Doğru Akım) olup, her bir modülün çıkış gerilimi 12- 1000 V, gücü 180-250 W aralığındadır. GES'lerin ürettikleri elektriğin çıkış gerilimleri bağlanacakları şebekenin gerilim seviyesine göre tasarlanır. Şebeke gerilimi 400 V'un üzerinde ise, 400 V/31,5 kV gibi gerilim yükseltici trafolar kullanarak şebekeyle irtibat sağlanır. DC olarak üretilen elektrik akımı ve gerilimi invertörle AC'ye (Alternatif Akım) dönüştürülür (Selekoğlu, 2012)

Bir güneş paneli sisteminden enerji üretimi hesabında bölgenin güneşlenme süresi, panelin verimi ve panelin kurulu gücü önemlidir. 1 kW'lık bir sistem için yaklaşık yedi metrekaarelik bir alana ihtiyaç duyulmaktadır. 1 kW'lık kurulu güce sahip güneş panelleri yaklaşık günde altı saatlik güneşlenme süresine sahipse günde yaklaşık 6 kWh, yılda ise 2190 kWh elektrik enerjisi üretmiş olacaktır. Net enerji üretimi ise belirli kayıplara uğrayacaktır. Güneş panellerinden elektrik enerjisi üretim hesabı eşitlik 16 yardımıyla yapılır. Ülkemizde güneş enerjisi 1 kWh 'i piyasaya 13.3 centten satılmaktadır (Özsoy & Somer, 2013)

$$E_{güneş} = \text{Güneşlenme süresi} * \text{Toplam kurulu güç} * \text{Verim} * \text{Gün sayısı} \quad (16)$$

2.3. Ekonomik Analiz

Rüzgar ve güneş enerjisi yatırımları için gerekli maliyetler çıkartıldıktan sonra (tüm sistem yapılarının maliyetleri) yatırımının ekonomik olup olmadığı için bazı analizler yapılmaktadır. Bu analizler aşağıda açıklanmıştır.

- **Geri ödeme Süresi**

Bu yöntem 'sıfır' faiz oranı yatırımın getirisinin maliyeti ne kadar sürede karşılayacağıdır. Örnek verilecek olursa 10.000 YTL 'bir yatırım 1.yıl 2000 YTL, 2.yıl 3000 YTL, 3.yıl 3000 YTL, 4.yıl 2000 YTL getiriyorsa yatırım kendisini 4 sene içerisinde karşılamaktadır (Başaran, 2010).

• Sermaye Geri Dönüş Miktarı

Yıllara yayılmış elektrik enerjisi maliyeti bir rüzgâr enerjisi santral yatırımının ekonomikliğinin tanımlandığı ana parametredir. Bir başka deyişle, nakit akışlarının ortak bir yıla indirgenmiş bir rüzgâr enerjisi santrali yatırımının ömrü boyunca tüm maliyetlerin toplamıdır. Yıllara yayılmış elektrik enerjisi maliyeti ana bileşenleri sermaye maliyeti, işletme ve bakım maliyetleri ve tahmin edilen yıllık enerji miktarıdır (International Renewable Energy Agency (IRENA), 2012).

Rüzgâr türbinden üretilen elektrik enerjisinin maliyet analizini yapmak için yıllık yatırım maliyetini yıllık enerji üretimi miktarına bölmek gerekir. Yıllık yatırım maliyetini bulmak için uygun bir katsayı kullanarak sermaye yatırımı öngörülen yatırım süresince hesap dışında tutulmalı ve sonra tahmin edilen yıllık işletme ve bakım maliyetleri eklenmelidir. Borç ile finanse edilen bir rüzgâr yatırımı için, sermaye maliyetini uygun bir sermaye geri dönüş (SGDF) faktörü kullanarak yıllara yayılmış olarak hesaplanabilir. Sermaye geri dönüş faktörü i faiz oranı ve n borçlanma süresine bağlıdır. Böyle bir borcun sermaye geri dönüş faktörü ve yıllık borç geri ödeme miktarı (Masters, 2004).

$$SGDF = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (17)$$

$$YBBGM = BBM \cdot SGDF = BBM \cdot \left[\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right] \quad (18)$$

şeklinde ifade edilir. Burada; YBBGM; banka borcu yıllık geri ödeme miktarı, BBM; banka borç miktarı, i faiz oranı ve n borç ödeme süresidir.

Finansal hesaplamaların hassasiyeti istenirse daha da artırılabilir. Büyük rüzgâr santrali yatırımlarında sermaye maliyetleri öz kaynak oranında bölünür ve yatırımcı uygun bir oranda yıllık geri dönüş miktarını almak ister. Bu durumda elektrik satış fiyatı hesaplanırken alınan borç ve öz kaynak oranı da göz önünde bulundurulur. Ayrıca gelir vergisi, diğer vergiler, enflasyon, amortisman gibi diğer faktörlerde finansal hesaplamaların içine katılabilir. Yatırımın tümü borçla yapılmayacak, bir kısmı öz kaynak ile karşılanacaksa ayrıca öz kaynak için istenilen yıllık geri ödeme miktarı da hesaplanır (Masters, 2004). Bu durumda;

$$YÖKGM = GDY \times ÖKM \quad (19)$$

Burada; YÖKGM; öz kaynak yıllık geri ödeme miktarı, GDY; öz kaynak geri dönüş yüzdesi, ÖKM; öz kaynak miktarıdır. Yıllık işletme ve bakım masraflarının da hesaplama katılması durumunda toplam borcun yıllık geri ödeme miktarı (YBGÖM);

$$YBGÖM = YBBGM + YÖKGM + YİBM \quad (20)$$

şeklinde hesaplanır. Burada YİBM yıllık bakım ve işletme masraflarıdır (Masters, 2004).

2.4. Emisyon Analizi

Rüzgar ve güneş enerjisinin çevreye sağladığı en büyük avantaj fosil kaynaklı yakıtların aksine sera gazı emisyonları azaltmasıdır. Karbon piyasaları ikiye ayrılmaktadır. Bunlar Kyoto protokolünü imzalayan ülkeler zorunlu piyasalar, protokolü imzalamayan ülkeler gönüllü piyasalar olarak adlandırılmaktadır. Gönüllü piyasalarda bir ton karbon 4.5-5.5 euro/dolar arasında karşılık bulurken, zorunlu piyasalarda bu değer 12-15 euro/dolar arasında karşılık bulmaktadır. Ülkemiz Kyoto protokolünü imzalayan ülkeler arasındadır fakat şu ana kadar sayılaştırılmış sera gazı azaltılması yükümlülüğüne sahip değildir (Doğan, Çolakoğlu, & Kıncaç, 2012), (Anonim, Enerji Verimliliği ve Karbon Salınımı Konferansı). 1 ton CO₂ miktarının azalması, yaklaşık olarak 429.6 litre tüketilmeyen benzine, 227.6 dönüm karbon emen araziye ve 344.9 ton geri kazanılan atık miktarına eş değerdir.

3. YATIRIM İÇİN WEB SAYFASININ HAZIRLANMASI

Web sayfası ASP.NET program dilinde framework 4S ile gerçekleştirilmiştir. Sistem incremental model kullanılarak geliştirilmiştir. Sistemde ayrıca jquery ve bootstrap açık kaynak kodlu kütüphane de kullanılmıştır. Bu özelliklerden en önemlisi float point sayılar ve recursive yapı kullanılmıştır. Veri tabanı olarak MSSQL kullanılmıştır. Bunun için gerekli bağlantı protokolü kullanılmış ve tüm işlemler ve log kayıtları burada tutulmuştur.

Kullanıcılar programa ilk girdikleri anda Şekil 1.a.'daki kayıt ekranı ile karşılaşacaklardır. Programı ilk defa kullanan kişiler yeni kayıt ekranına yönlendirilecektir. Kişiye ait bilgiler kaydedildikten sonra kullanıcılar e-mail adresleri ve şifreleriyle analizleri gerçekleştirilebilecekleri ana ekrana yönlendirilecektir. Bu işlemleri tamamlayan kullanıcılar, rüzgâr, güneş ve hibrit enerji sistemlerinin fizibilite analizlerini gerçekleştirilebilecekleri ana ekrana (Şekil 1.b.) yönlendirilecektir. Bu ekrandaki 3 butondan

herhangi birine basarak istedikleri kaynağın fizibilite analizini gerçekleştirebilirler. Bu ekranda kullanıcı sayısı, kullanıcının son giriş zamanı gibi bilgilerle ekran görüntüsü zenginleştirilmiştir.



(a)

(b)

Şekil 1. (a) Web sayfası kayıt ekranı (b) 3 farklı analiz için ana ekran görüntüsü

Rüzgar enerjisi için fizibilite analizi yapmak isteyen kullanıcı Rüzgar enerjisi fizibilite analizi butonuna bastığında Şekil 3'deki gibi bir ekranla karşılaşacaktır. Bu ekranda kullanıcı bölgeye ait sıcaklık, yükseklik, yeryüzü yapısı gibi bilgileri, bölgeye ait aylık ortalama rüzgar hızı verilerini, kullanmak istedikleri türbin güç eğrisi parametrelerini, sermaye durumuna ilişkin bilgileri rahatlıkla girebilecektir. Güneş enerjisi ve hibrit sistem içinde benzer ekranlar hazırlanmıştır.

Tablo 2. Bölgenin rüzgar potansiyeli sonuçları

Aylar	V_m (m/sn)	c	E_y (w)	E_t (w)	V_{fmaks} (m/sn)	V_{emaks} (m/sn)
Ocak	6.78	7.65	363.80	270670.11	5.41	10.81
Şubat	5.86	6.61	235.29	158117.24	4.67	9.35
Mart	3.71	4.19	59.64	44374.31	2.96	5.92
Nisan	4.72	5.33	123.17	88684.95	3.77	7.54
Mayıs	4.98	5.62	144.66	107627.58	3.98	7.95
Haziran	6.41	7.24	308.26	221947.00	5.12	10.23
Temmuz	4.95	5.58	141.55	105311.24	3.95	7.89
Ağustos	6.08	6.86	262.42	195238.60	4.85	9.70
Eylül	5.77	6.51	224.50	161639.58	4.60	9.20
Ekim	5.45	6.15	189.17	140741.99	4.35	8.69
Kasım	5.47	6.17	191.47	137858.62	4.36	8.73
Aralık	7.29	8.23	452.86	336928.30	5.82	11.63
Yıllık ort.	5.77	6.51	224.73	167.20	4.60	9.21

Bölge Özellikleri Yen: 1 Yükseklik: 200 Sıcaklık: 15 Yeryüzü Yapısı: Uzun cimli Toprak	Emisyon Analizi Rüzgar Emisyon Katsayısı: 0,62 1 ton sera gazı azalması egdegen(Euro): 13 Euro Kuru(Tl): 2,85	Enerji Analizi Ölçüm Yüksekliği: 10 Kule Yüksekliği: 40 Anma Gücü(kw): 600 Süpürme Alanı: 1452	Ekonomik Analiz Maliyet: 2147260 Özkaynak(%): 3 Yurtiçi Banka borç oranı: 2 Yurtdışı Banka borç oranı: 5 Borç Ödeme Süresi: 10 Elektrik birim satış fiyatı (Cent): 7,5 Özkaynak Faiz(%): 15 Yurtiçi Faiz (%): 9 Yurtdışı Faiz (%): 65 Dolar Kuru: 2,14 Faiz Faktör: 8 HESAPLA
Layout Group 1: 0 2: 0 3: 2 4: 17 5: 45 6: 72 7: 124 8: 196 9: 277 10: 364 11: 444 12: 533 13: 584 14: 618 15: 619 16: 618 17: 619 18: 620 19: 610 20: 594 21: 592 22: 590 23: 580 24: 575 25: 570		Rüzgar Hızları m/sn Ocak: 6,77 Şubat: 5,85 Mart: 3,7 Nisan: 4,72 Mayıs: 4,98 Haziran: 6,41 Temmuz: 4,95 Ağustos: 6,07 Eylül: 5,77 Ekim: 5,45 Kasım: 5,47 Aralık: 7,28	

Şekil 2. Rüzgar enerjisi için gerekli veri giriş ekranı

5. UYGULAMA SONUÇLARI

Bu programa göre, aylara göre elde edilmiş potansiyel analiz sonuçları, Tablo 2'de verilmiştir. Çizelgedeki V_m ortalama rüzgar hızını, c ölçek parametresini, $E_y(w)$ enerji yoğunluğu, E_t toplam enerji miktarını, V_{fmaks} en sık görülen rüzgar hızını, V_{emaks} ise enerji eldesine en çok katkı yapan rüzgar hızını ifade etmektedir. 10 m yükseklikte bölgenin rüzgar hızı ortalaması 3.71 m/sn ile 7.29 m/sn arasında değişmekte olup, yıllık rüzgar hızı ortalaması 5.77 m/sn'dir. Rayleigh metodu kullanıldığı için şekil parametresi her zaman ikiye eşittir. Ölçek parametresi 4.19 ile 8.23 arasında değişmektedir. Mart ayında en düşük değere, aralık ayında en yüksek değere sahiptir. Ortalama hız da en düşük ve en yüksek değerlerini aynı aylarda almıştır, bu da ölçek parametresi ile ortalama hız arasındaki doğrudan ilişkiyi göstermektedir.

Aylar içindeki en sık görülen rüzgâr hızı değerleri 2.96 m/sn ile 5.82 m/sn arasında değişmekte iken, enerji eldesine maksimum katkı yapan rüzgâr hızı değerleri 5.92 m/sn ile 11.63 m/sn arasında değişmektedir. En düşük değere mart ayında, en yüksek değere aralık ayında rastlanmaktadır. Rayleigh istatikselsel metoduyla yapılan potansiyel analiz sonucunda, bölgenin rüzgâr enerjisi bakımından zengin olduğu ve yatırım için bölgenin uygun olduğu ortaya konmuştur.

Çalışmanın bu kısmında, bölgenin rüzgâr potansiyelinden yararlanarak enerji üretimi yapabilmek için gücü 600 kW olan Nordex 43 türbini verileri kullanılmıştır. Türbinin kule yüksekliği farklı seçenekler arasından 40 m olarak kabul edilmiştir. Enerji analizinde ilk olarak sıcaklık ve yükseklik değerlerine bağlı olarak hava yoğunluğu hesaplanmış, 10 m yükseklik için ortalama hız değeri, bölgeden elde edilebilecek rüzgâr gücü ve bölgenin yıllık enerji potansiyeli bulunmuştur. Sıcaklık 15°C, yükseklik ise 200 m alınmış olup, istenirse değiştirebilir. 10 metredeki yıllık ve mevsimsel olarak bulunan ortalama rüzgâr hızının kullanılan türbinlerin kule yüksekliğine göre Hellman bağıntısı yardımıyla dönüştürülmüştür. Hesaplamalarda pürüzlülük katsayısı bölgenin özelliğine göre 0.15 olarak alınmıştır, Bu değer, programda kullanıcıdan isteniyor olup istenildiği takdirde değiştirebilir. Bölgenin güneşlenme süreleri kullanılarak, 100 kWp kurulu güçlük bir sistem kurulacağı düşünülmüştür. Buna göre bölgeden rüzgâr, güneş enerjisinden üretilebilecek enerji miktarları, türbinin kapasite faktörü ve paneller için gerekli alan Tablo 3'deki hesaplanmıştır.

Tablo 3. Rüzgar ve güneş enerjisinden elde edilen enerji miktarları

Rüzgardan üretilen enerji	1647.84
Rüzgar Türbinin Kapasite Faktörü (%)	31.35
Güneşten Üretilen Enerji (kWh)	98692
Gerekli Panel Alanı (m²)	700

Bölge için en iyi yatırımı yapabilmek ve bölgeye en uyumlu olabilecek türbini bulabilmek için enerji analizi yapıldıktan sonra ekonomik analizler yapılmıştır. Ekonomik analizlerde doğru rakamlara ulaşabilmek için çalışma öncesinde piyasa araştırması yapılmış, yatırım için gerekli olan maliyetlerde doğru ve güncel rakamlara ulaşılmaya çalışılmıştır. Bu araştırmalar sonucunda Nordex 43 türbininin maliyeti 2147260 TL, 100 kWp güneş panelinin maliyeti 140000 € alınmış, 1kwh rüzgar enerjisinin 7.5 centten 1kwh güneş enerjisinin piyasaya 13.3 centten piyasaya satılacağı düşünülmüştür. Her iki yatırım için ekonomik koşullar düşünülerek, beş türbin için de yatırım tutarının, yüzde otuzunun öz kaynak, yüzde ellisinin dış kredilerden ve yüzde yirmisinin yurt içi ticari kredilerden sağlandığı düşünülmüştür. Güncel rakamlar olması nedeniyle, öz kaynak bono faizi %15, yurt içi ticari faiz oranı %9 ve yurt dışı kredi faiz oranı %6.5 alınmış, borç ödeme süresi 10 yıl olarak kabul edilmiştir. Bu rakamlar program sırasında değiştirilebilir ve güncellenebilir. Buna göre yazılım sonucu elde edilen değerler Tablo 4’de verilmiştir.

Tablo 4. Rüzgar ve güneş enerjisinin ekonomik analiz sonuçları

	Rüzgar Enerjisi	Güneş Enerjisi
Geri Ödeme Süresi	6	10
Yıllara yayılmış elektrik birim satış fiyatı	0.190	0.58
Kar miktarı	8.190.096,0	449435

Rüzgar enerjisinin çevreye sağladığı en büyük avantaj fosil kaynaklı yakıtların aksine sera gazı emisyonları azaltmasıdır. Türkiye için rüzgar emisyon katsayısı 1 kWh için 0,62 kg güneş emisyon katsayısı 0.628 kg alınmıştır Rüzgar ve güneş enerjisinin çevreye sağladığı katkıları sayısal göstermek için Bu yüzden, 1 ton karbondioksit salınımı azaltılması miktarı yaklaşık 13 Euro olarak kabul edilmiş, 1 ton CO₂ miktarının azalması, yaklaşık olarak 429.6 l tüketilmeyen benzine, 227.6 dönüm karbon emen araziye ve 344.9 ton geri kazanılan atık miktarına eş değerdir. Elde edilen sonuçlar Tablo 8’de gösterilmiştir.

Tablo 5. Rüzgar ve güneş enerjisi için emisyon analizi sonuçları

	Rüzgar Enerjisi	Güneş Enerjisi
Net yıllık sera gazı azalması (Tc02)	1021.66	63.952
Piyasa Değeri (TL)	37852.5	2369.44
Net tüketilmeyen benzin (tl)	438905	27474
Orman Arazi (dönüm)	232530	14555.6
Geri Kazanılan Atık (ton)	352371	22057.2

Çalışmanın son kısmında, iki önemli yenilenebilir enerji kaynağı olan rüzgâr ve güneş enerjisiyle ilgili hibrit bir sistem kurulup yatırım yapıldığı takdirde, yatırımın sağlayacağı enerji miktarı ve üretilen enerjinin bölgenin enerji ihtiyacını karşılama oranı bulunmuştur. Bu orana göre çeşitli durumlarda bölge için en yararlı ve yatırımcı için en kârlı durum bulunmaya çalışılmıştır.

Bu sistem için hazırlanan programda, daha farklı seçeneklerde denenebilir.

1. durum: 2300 Mw'lık 57 m kule yüksekliğine sahip Enercon-44 türbininden 1 adet ve 1 adet 45 m kule yüksekliğine sahip 900 kW'lık Enercon-44 türbini ve 300 kWp güce sahip güneş paneli
2. durum: 2500 MW'lık 60 m kule yüksekliğine sahip Nordex-N80 türbini ve 600 MW'lık 40 m kule yüksekliğine sahip Nordex-43 türbininden bir adet ve 500 kWp güce sahip güneş paneli
3. durum: 3000 MW'lık 78 m kule yüksekliğine sahip Enercon-82 rüzgar türbinden 1 adet ve 200 kWp güce sahip güneş paneli
4. durum: 4.durum 2500 MW'lık Nordex-N80 türbini ve 1000 kWp güce sahip güneş paneli

Durumlara bağılı olarak üretilen enerji üretim miktarları, üretilen enerji geliri, geri ödeme süresi, kar miktarı ve yıllara yayılmış elektrik enerjisi birim satış fiyatı Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6. Hibrit sistem sonuçları

	HS-1	HS-2	HS-3	HS-4
Elektrik Enerjisi Üretimi	8845.09	8907.34	8836.27	7752.42
Geri Ödeme Süresi	7	7	7	8
Kar miktarı	19.685.600,0	19.824.200,0	15.926.600,0	15.926.600,0
Yıllara yayılmış elektrik enerjisi birim satış fiyatı	0.244	0.246	0.243	0.28

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Tübitak 1001 kodlu 115E406 sayılı 'Rüzgar ve Güneş Enerji Sistemlerinde Web Tabanlı Noktasal Karar Destek Sistem Yazılımı' başlığı altındaki proje kapsamında gerçekleştirilmiştir. Verilen bu destek nedeniyle Tübitak'a teşekkürlerimizi sunarız.

ÇIKARIMLAR

Bu çalışmada, yenilenebilir enerji kaynaklarından rüzgar ve güneş enerji sistemlerinin potansiyel ve ekonomik analizlerini yapmak için web programında bir yazılım hazırlanmıştır. Hazırlanan programda, örnek uygulama bölgesi olarak Bartın ilinin Amasra ilçesi seçilmiştir. Bölgenin, bir yıllık süreyle ölçülen saatlik rüzgar hızı verilerine Rayleigh istatistiksel metodu uygulanmış, bölgenin 10 metre yükseklikteki yıllık ortalama rüzgar hızı 5.77 m/sn olarak bulunmuştur. Kış aylarında ortalama hızların yüksek olduğu, buna bağılı olarak ölçek parametresinin de yüksek olduğu, ilkbahar aylarında ise ortalama rüzgar hızının düşük olduğu buna bağılı olarak ölçek parametresinin de düşük olduğu görülmüştür. Bölgenin rüzgar hızı ve güneşlenme süreleri kullanılarak farklı güçteki rüzgar türbini ve güneş panelleri için enerji analizi, ekonomik analiz ve emisyon analizi yapılmıştır. Her üçü için yapılan analiz sonuçları karşılaştırıldığında, bölge için en uygun yatırımın rüzgar enerjisinden elde etmek olduğu görülmüştür. Bölge için henüz güneş enerjisi yatırımının uygun olmadığı, fakat öz kaynak miktarının artırılması, güneş panellerinin verimliliklerinin artması ve ilk maliyetlerinin azalması durumunda yatırımın gerçeğe dönüşebileceği söylenebilir. Fakat bu durum, Amasra bölgesi için geçerli olup, herhangi bir yerde daha farklı olabilir. Bu yüzden bölgelerin rüzgar ve güneş potansiyelleri önemlidir.

KAYNAKLAR

- Anonim. (tarih yok). *Amasra Kaymakamlığı*. <http://www.amasra.gov.tr/iklim.html>, (Erişim tarihi: 30.08.2016).
- Anonim. (tarih yok). *Enerji Verimliliği ve Karbon Salınımı Konferansı*. http://www.turktelekomakademi.com.tr/kurumsal50/Specific/TELEKOM/Upload/media/ek-1_Akademi_Enerji_VerimlilikiveKarbonSalinimi.pdf.
- Anonim. (tarih yok). *Rüzgar Hızı ve Yönü İstatistiksel Bilgiler, Meteoroloji Genel Müdürlüğü*. <http://www.dmi.gov.tr/site/bilgi-edinme.aspx?r=d>, (Erişim tarihi: 02.08.2016).
- Başaran, B. (2010). Rüzgar Enerjisi Santrali Esentepe Yerleşkesi Örneği . *Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*. Sakarya.
- Çanka Kılıç, F. (2015). Güneş Enerjisi, Türkiye'deki Son Durumu ve Üretim Teknolojileri. *Mühendis ve Makina*, 56(671), s. 28-40.
- Doğan, B., Çolakoğlu, A., & Kıncay, O. (2012). RETScreen Analiz Programı ile Hatay'da Rüzgar Enerji Santrali Fizibilite Analizi. *Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği, Makine Mühendisleri Odası*, 131, 22-27.
- International Renewable Energy Agency (IRENA). (2012). *Renewable Energy Technologies: Cost Analysis Series*.
- Koç, E., & Şenel, M. C. (2013). *Dünya'da ve Türkiye'de Enerji Durumu-Genel Değerlendirme*. *Mühendis ve Makina*: 54(639),32-44.
- Makina Mühendisleri Odası. (2012). *Türkiye'nin Enerji Görünümü*. Ankara: TMMOB Makina Mühendisliği Odası Yayınları.

- Masters, M. (2004). Renewable and Efficient Electric Power Systems. M. Masters içinde, *John Wiley & Sons, Inc.* (s. 334-379). U.S.A.
- Mathew, S. (2006). *Wind Energy Fundamentals, Resource Analysis and Economics*. Netherlands: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Özsoy, İ., & Somer, H. (2013). *Afyonkarahisar'daki İşletmeler Gücünü Güneş Enerjisinden Alıyor Projesi 100 kWp, 50 kWp, 25 kWp, Güçlerde Güneş Enerjisinden Elektrik Enerjisi Üretimi Sistemi Fizibilite Raporları*.
- Patel , M. (1999). Patel , M.R.; W. a. Systems. içinde, *CRC Press* (s. 40-65). USA.
- Selekoğlu, M. (2012). Güneş Enerjisinden Elektrik Üretimine Genel Bir Bakış ve Uygulama. *Enerji Mühendisliği ve Enerji Yönetimi Danışmanlığı* .



Çok Ölçütlü Karar Verme İle Montaj Hattı Dengeleme

A Disassembly Line Balancing with Multicriteria Decision Making

Neşet BEDİR¹, Hacı Mehmet ALAĞAŞ¹, Tamer EREN*¹

¹Kırıkkale Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 71450 KIRIKKALE

Başvuru/Received: 29/08/2016

Kabul/Accepted: 16/11/2016

Son Versiyon/Final Version: 15/01/2017

Öz

Dünyadaki gelişmelerle birlikte atıklarda hızlı bir şekilde artmaktadır. Atıklar doğru değerlendirildiğinde ekonomik olarak bir getirisi olurken, yanlış değerlendirildiğinde ülkeler için hem ciddi bir sorun hem de maddi bir kayıptır. Atıkların geri dönüştürülmesi için kurulan tesislerde sökme işlemi yapılarak işe yarar parçalar ayrıştırılabilmektedir. Bu çalışmada elektronik atıkların geri dönüştürülmesi sürecinde montaj işleminin tersi olan demontaj işleminin yapıldığı demontaj hatlarının dengelenmesi ele alınmıştır. Zaman faktörü de göz önüne alarak çeşitli kriterlere göre ideal parça söküm sırası belirlenmiştir. Problemin çözümünde söküm sırasının belirlenmesi için çok kriterli karar verme yöntemlerinden AHP ve PROMETHEE yöntemleri kullanılmıştır. AHP yöntemi ile kriter ağırlıkları belirlenmiştir. PROMETHEE yöntemi ile alt parçaların söküm sırası belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler

“AHS, PROMETHEE, demontaj hattı dengeleme, çok kriterli karar verme”

Abstract

Waste is increasing rapidly because of developments in the world. It would be economic return when the waste assesses truly, but when it is not assess, it is a financial loss as well as a serious problem for countries. Useful parts can be separated at the recycling facility in disassembly process. In this study, a disassembly line balancing problem is considered. The disassembly line is a part of recycling process on which parts are separated to subparts in stations. Ideal disassembly orders of pieces are determined by various criteria and also a time factor is taken into account. AHP and PROMETHEE methods that are multi-criteria decision-making methods are used to solve problem for determining disassembly orders. Weights of criteria are determined with AHP and subparts' disassembly orders are obtained with PROMETHEE.

Key Words

“AHP, PROMETHEE, disassembly line balancing, multicriteria decision making”

1. GİRİŞ

Gelişmekte olan ülkelerde son yıllarda çevreye duyarlı üretim ve ürün geri kazanımı yeni yasal düzenlemeler ve tüketicinin farkındalığının artması ile ayrı bir önem kazanmıştır. Bununla birlikte, ürünlerin, alt montajların veya parçaların atılması yerine yeniden kullanılmasının maddi getirisi bu çabayı daha da arttırmıştır (McGovern, S. M., & Gupta, S. M., (2007)). Demontaj ise değerli parça, alt montajların ve malzemelerin kullanılmış ürünlerden çıkarılması ile malzeme ve ürün geri kazanımında önemli bir rol oynamaktadır (Gupta, S. M., & Taleb, K.N., (1994)). Demontaj operasyonlarında ürünün bir ya da birden fazla parçasına olan talebi karşılamak için ürünün bir kısmı demonte edilebilirken, ürünün tüm parçalarına talep olması durumunda ise hepsi demonte edilebilir. Demontaj sistemlerinde karşılaşılan ciddi sorunlardan biri parçaların ve alt montajların talepleri ile demontajlarından elde edilen miktar arasındaki farklılıklardan kaynaklanan stok problemleridir (McGovern, S. M., & Gupta, S. M., (2007)). Ayrıca, geri dönen ürünler bazen iyi bir şekilde ve kısmen yeni gibi olabilirken, bazen de fonksiyonlarını yitirmiş ve eski olabilir. Bu nedenle ürün ve alt parçaları kalite açısından yüksek derecede belirsizlik içerir (Güngör, A. and Gupta, S.M., (1999)).

Literatürde atıkların geri dönüşüm ile ilgili çalışmalar mevcuttur. Hsu vd. (Hsu, C. H., Wang, F. K., & Tzeng, G. H. (2012)) en verimli geri dönüştürülebilir malzeme yapacak karışımı belirlemek için çok kriterli karar verme yöntemlerinden ANP (Analitik Ağ Süreci) ve VICOR ile melez bir yöntem önermişlerdir. Özceylan (Özceylan, E. (2013)) çalışmasında tersine lojistik ve kapalı döngü tedarik zinciri problemleri ile demontaj hattı dengeleme problemlerini entegre etmişlerdir. Yeh ve Xu (Yeh, C. H., & Xu, Y. (2013)) çalışmalarında en iyi kurumsal sürdürülebilirlik performansını sağlayacak geri dönüşüm faaliyetlerini planlamamak için, çok kriterli karar verme yönteminden faydalanmışlardır. Vinodh vd. (Vinodh, S., Prasanna, M., & Prakash, N. H. (2014)) çalışmalarında çeşitli plastik geri dönüşüm süreçleri arasından en iyi plastik geri dönüşüm yöntemini AHP ve TOPSIS yöntemlerini kullanarak belirlemişlerdir ve mekanik geri dönüşüm sürecinde en iyi sürecin plastik geri dönüşüm süreci olduğunu tespit etmişlerdir. Wibowo ve Deng (Wibowo, S., & Deng, H. (2015)) elektronik atık geri dönüşüm sürecinde performans değerlendirmesi yapmak için çok kriterli karar verme yöntemlerinden yararlanmışlardır.

Literatürde çeşitli problemlerde AHP ve PROMETHEE yönteminin beraber kullanıldığı yazınlarda mevcuttur. Bedir vd. (Wibowo, S., & Deng, H. (2015)) üçüncü parti lojistik firma seçiminde, Bedir ve Eren (Bedir, N., Eren, T., (2015)) özel bir tekstil firmasında işe alınacak personelin seçiminde, Bedir vd. (Bedir, N., Özder, E. H., Eren, T., (2016)) Kırıkkale Üniversitesi'nde enstitüye alınacak öğrencilerin seçiminde, Özder vd. (Özder, E. H., Bedir, N., Eren, T., (2016)) akademik personel seçiminde AHP-PROMETHEE yöntemlerini beraber kullanmışlardır.

Montaj sürecinde, birçok parçanın birleşerek tek bir parça haline geldiği "birleşen" akış süreçleri ile ilgilenirken, demontajda bir ürünün birçok alt montaja ve parçaya ayrıldığı ayrılan akış süreçleri ile ilgilenilir. Sökülecek parçaların hangi sıra ile söküleceği birçok kriterler dikkate alınarak belirlenebilir. Bu problemde olduğu gibi karar verme süreçlerinde birçok kriterin dikkate alınması gereken problemlerin çözümünde Çok Kriterli Karar Verme Problemleri (ÇKKV) kullanılabilir. Çalışmamızda demonte edilecek parçaların sırasını belirlemek için çok kriterli karar verme yöntemleri kullanılmıştır. Belirlenen kriterlerin önem dereceleri AHP yöntemi ile ağırlıklandırılmış, alternatif parçalar PROMETHEE yöntemiyle sıralanmıştır.

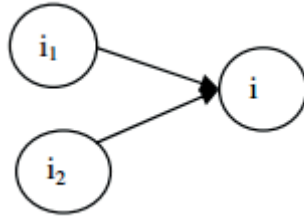
Çalışmanın planı şu şekildedir. İkinci bölümde demontaj hattı dengeleme problemi anlatılmıştır. Üçüncü bölümde çok kriterli karar verme yönteminden bahsedilmiştir. Dördüncü bölümde yapılan uygulama anlatılmıştır. Çalışmanın son bölümü olan beşinci bölümde elde edilen bulgulara yer verilmiştir.

2. DEMONTAJ HATTI DENGELEME PROBLEMİ

Demontaj işlemi bir ürünün kendisini oluşturan parçalardan planlı bir şekilde ayrılması, başka bir deyişle tersine montaj olarak tanımlanırken; Demontaj Hattı Dengeleme problemi, demontaj işlemini belirli bir sisteme göre istasyonlara iş atarken işler arasındaki öncelik ilişkilerinin sağlanması ve bir etkinlik ölçütünün optimize edilmesi olarak tanımlanmaktadır (Güngör, A. and Gupta, S.M., (1999)). Demontaj işlemi teknolojinin gelişmesi ve yeni yasalarla birlikte elektronik atıklar konusunda da önem arz etmektedir. Çağımızın en önemli ihtiyaçları olan elektronik aletlerde bunlardan biridir. Elektronik aletler önceleri kullanım sonrası tamir görünürken, değişen sistemde yeniyeye eğilimden dolayı tamir edilmeden atılmaktadır. Durum böyle olunca elektronik atıklar çok ciddi bir problem arz etmektedir. Birleşmiş Milletler Çevre Programı, Dünya çapında yaklaşık 20-50 milyon ton arasında elektronik atık oluştuğunu ve yıllık artış miktarının diğer atıklardan 3 kat daha fazla olduğunu belirtmiştir (Ciftlik, S., Handırı, İ., Beyhan, M., Akçıl, A. U., Ilgar, M., Gönüllü, M. T. (2009)).

Demontaj hattı, demontaj sürecinin uygulanmasını kolaylatıcı şekilde ve ürünlerin özelliklerine bağlı olarak oluşturulmalıdır. Demontaj hattı dengeleme sürecinde sökülecek parçalar arasındaki öncelik ilişkileri dikkate alınmalıdır. Montaj hattı dengelemede bir işi yapabilmek için o işin öncülü olan tüm işler tamamlanmış olmalıdır.

“Ve” öncelik ilişkisi: Eğer a ve b tamamlanmadan c işine başlanamıyor. İse Şekil 1’de görüldüğü gibi, a ve b işleri c işinin “Ve” tipi öncülüdür (Karadağ, A., A., (2012))



Şekil 1. “Ve” öncül ilişkisi

3. ÇOK ÖLÇÜTLÜ KARAR VERME YÖNTEMLERİ

Çok kriterli karar verme yöntemleri değişik türden problemlere çözüm bulmaktadır. Bu çalışmada da çok kriterli karar verme yöntemlerinden AHP ve PROMETHEE yöntemleri kullanılmıştır.

3.1. AHP Yöntemi

Çok kriterli karar verme yöntemlerinden biri olan AHP yöntemi, 1977 yılında Thomas L. Saaty tarafından geliştirilmiştir (Saaty, T. L., (1990)). Analitik Hiyerarşi Süreci; alternatif karar noktasını birden çok kriteri baz alarak değerlendirdiğinden ve bu yapıyı hiyerarşi ile görsel olarak da sunabildiğinden anlaşılması ve uygulanması oldukça kullanışlı kılmaktadır. Analitik Hiyerarşi Sürecinin adımları aşağıda verilmiştir (Saaty, T. L., (2000)):

Adım 1: Hiyerarşik Yapının Oluşturulması

Adım 2: Önceliklerin Belirlenmesi

Adım 3: İkili Karşılaştırma Matrisi ve Çözümü

Adım 4: Normalleştirme ve Görelî Önem Ağırlıkları

Adım 5: Tutarlılık Oranının Hesaplanması

Adım 6: Nihai Sıranın Belirlenmesi

3.2. PROMETHEE Yöntemi

PROMETHEE Brans (Brans, J. P., & Vincke, P. (1985)) tarafından geliştirilmiş birçoklu karar verme yöntemidir. Yöntem karar noktalarının sırasını, PROMETHEE I (kısmi sıralama) ve PROMETHEE II (tam sıralama) ana aşamalarıyla belirler. PROMETHEE yöntemi karar noktalarının değerlendirme faktörlerine göre ikili kıyaslamalarına dayanır. Ancak diğer çoklu karar verme yöntemlerinden temel farkı, değerlendirme faktörlerinin birbirleri arasında ilişki düzeyini gösteren önem ağırlıklarının yanı sıra, her bir değerlendirme faktörünün kendi iç ilişkisini de dikkate almasıdır.

PROMETHEE yöntemi, diğer çok kriterli karar verme metotları ile uygulama ve kapsam açısından karşılaştırıldığında gerçek değerler ile ifade edilebilen çok sayıda kriter için uyarlanabilir basit bir yöntemdir. PROMETHEE yöntemi 7 adımdan oluşmaktadır (Dagdeviren, M., & Eraslan, E. (2008)).

Adım 1: Veri Matrisinin Oluşturulması: Öncelikle belirlenen w ağırlıkları ve k kriterleri kullanılarak alternatiflerin değerlendirilmesine ilişkin veri matrisi, Tablo 1’deki gibi oluşturulur.

Tablo 1. Veri Matrisi

		Değerlendirme Faktörleri				
		f_1	f_2	f_3	...	f_k
Karar Noktaları	A	$f_1(A)$	$f_2(A)$	$f_3(A)$...	$f_k(A)$
	B	$f_1(B)$	$f_2(B)$	$f_3(B)$...	$f_k(B)$
	C	$f_1(C)$	$f_2(C)$	$f_3(C)$...	$f_k(C)$

Ağırlıklar	w_i	w_1	w_2	w_3	...	w_k

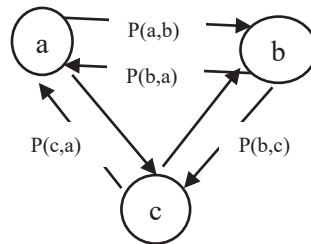
Adım 2: Kriterler için tercih fonksiyonların tanımlanması: PROMETHEE yönteminin ikinci adımında diğer çok kriterli karar verme yöntemlerinden farklı olarak kullanılan 6 farklı tercih fonksiyonu Tablo 2’de gösterilmiştir.

Tablo 2. Tercih fonksiyonları

Tip	Parametreler	Fonksiyon	Grafik, $p(x)$
Birinci Tip (olağan)	-	$p(x) = \begin{cases} 0, & \forall x \leq 0 \\ 1, & \forall x \geq 0 \end{cases}$	
İkinci Tip (U-tipi)	l	$p(x) = \begin{cases} 0, & x \leq l \\ 1, & x \geq l \end{cases}$	
Üçüncü Tip (V-tipi)	m	$p(x) = \begin{cases} x/m, & x \leq m \\ 1, & x \geq m \end{cases}$	
Dördüncü Tip (Seviyeli)	q, p	$p(x) = \begin{cases} 0, & x \leq q \\ 1/2, & q < x \leq q+p \\ 1, & x > q+p \end{cases}$	
Beşinci Tip (Lineer)	s, r	$p(x) = \begin{cases} 0, & x \leq s \\ (x-s)/r, & s < x \leq s+r \\ 1, & x > s+r \end{cases}$	
Altıncı Tip (Gaussian)	σ	$p(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 0 \\ 1 - e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}}, & x \geq 0 \end{cases}$	

Adım 3: Ortak tercih fonksiyonlarının belirlenmesi: Alternatifler için belirlenen ortak tercih fonksiyonları Şekil 2’de verilmiş olup a ve b alternatifleri için ortak tercih fonksiyonu eşitlik (1) kullanılarak oluşturulur.

$$P(a,b) = \begin{cases} 0 & , f(a) \leq f(b) \\ p[f(a) - f(b)] & , f(a) > f(b) \end{cases} \quad (1)$$



Şekil 2. Ortak tercih fonksiyonlarının şematik gösterimi

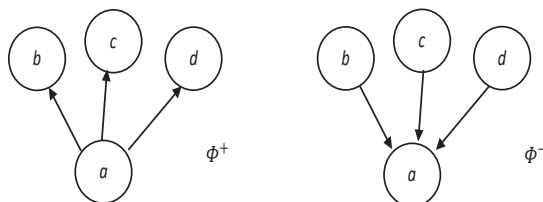
Adım 4: Tercih indekslerinin belirlenmesi: Ortak tercih fonksiyonlarından hareketle her alternatif çifti için tercih indeksleri belirlenir ve w ağırlığına sahip olan k kriter tarafından değerlendirilen a ve b alternatiflerinin tercih indeksi eşitlik (2) ile hesaplanır.

$$\pi(a, b) = \frac{\sum_{i=1}^k w_i * P_i(a,b)}{\sum_{i=1}^k w_i} \quad (2)$$

Adım 5: Alternatifler için pozitif (Φ^+) ve negatif (Φ^-) üstünlükler belirlenmesi: A alternatifi için pozitif ve negatif üstünlük şematik olarak Şekil 3’de gösterilmiş olup pozitif üstünlük Eşitlik 3, negatif üstünlük ise eşitlik (4) ile hesaplanır.

$$\Phi^+(a) = \frac{1}{n-1} \sum \pi(a, b) \quad (3)$$

$$\Phi^-(a) = \frac{1}{n-1} \sum \pi(b, a) \quad (4)$$



Şekil 3.a alternatifi için hesaplanan pozitif ve negatif üstünlük

Adım 6: PROMETHEE I ile alternatifler için kısmi önceliklerin belirlenmesi: Kısmi öncelikler alternatiflerin birbirlerine göre tercih edilme durumlarının, birbirinden farksız olan alternatiflerin, birbirleriyle karşılaştırılmayacak olan alternatiflerin belirlenmesini sağlar. a ve b gibi iki alternatif için kısmi önceliklerin belirlenmesinde aşağıda verilen durumlar söz konusudur. Aşağıdaki üç koşuldan biri sağlanıyorsa, a alternatifini b alternatifine tercih edilir.

$$\Phi^+(a) > \Phi^+(b) \text{ ve } \Phi^-(a) < \Phi^-(b) \quad (5)$$

$$\Phi^+(a) > \Phi^+(b) \text{ ve } \Phi^-(a) = \Phi^-(b) \quad (6)$$

$$\Phi^+(a) = \Phi^+(b) \text{ ve } \Phi^-(a) < \Phi^-(b) \quad (7)$$

Aşağıda verilen koşul sağlanıyor ise a alternatifini b alternatifini farksızdır.

$$\Phi^+(a) = \Phi^+(b) \text{ ve } \Phi^-(a) = \Phi^-(b) \quad (8)$$

Aşağıdaki iki koşuldan herhangi biri sağlanıyor ise, a alternatifini b alternatifini ile karşılaştırılmaz.

$$\Phi^+(a) > \Phi^+(b) \text{ ve } \Phi^-(a) > \Phi^-(b) \quad (9)$$

$$\Phi^+(a) < \Phi^+(b) \text{ ve } \Phi^-(a) < \Phi^-(b) \quad (10)$$

Adım 7: PROMETHEE II ile alternatifler için tam önceliklerin belirlenmesi: Aşağıdaki eşitlik yardımıyla her bir alternatif için tam öncelikler hesaplanır. Hesaplanan tam öncelik değerleri ile bütün alternatifler aynı düzlemde değerlendirilerek tam sıralama belirlenir.

$$\Phi(a) = \Phi^+(a) - \Phi^-(a) \quad (11)$$

a ve b gibi iki alternatif için hesaplanan tam öncelik değerine bağlı olarak aşağıda verilen kararlar alınır.

$\Phi(a) > \Phi(b)$ ise, a alternatifini daha üstündür,

$\Phi(a) = \Phi(b)$ ise, a ve b alternatifleri farksızdır.

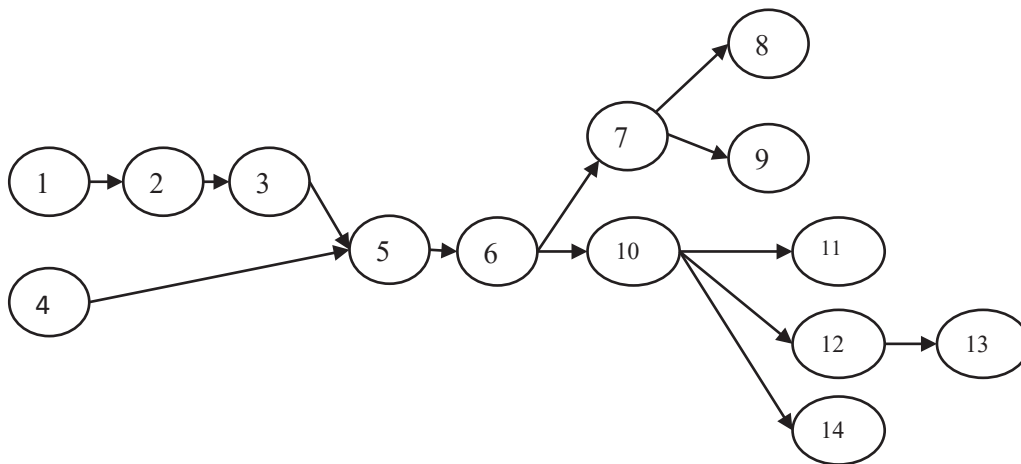
4. UYGULAMA

Bu çalışmada klima iç ünite demontajı problemi ele alınmıştır. Klima demontajında göz önünde bulundurulacak kriterlerin ağırlıkları AHP yöntemiyle belirlenmiştir. Belirlenen ağırlıklar ve teknolojik öncelik diyagramı dikkate alınarak alternatif klima parçalarının söküm sırası PROMETHEE yöntemi kullanılarak tespit edilmiştir. Klima demontaj parçaları Tablo 3’de gösterilmektedir.

Tablo 3. Klima parçaları

KLİMA PARÇALARI			
1	Filtre kapağının çıkartılması	8	Gösterge sökümü
2	Filtrenin çıkartılması	9	Salınım kanat motorlarının sökümü
3	Hava girişi üst ızgarası	10	Ana kart sökümü
4	Bağlantı klemense kapağı	11	Isı sensörü sökümü
5	Kanat altı vidaların sökümü	12	Evaporatör sökümü
6	Üst kapağın çıkartılması	13	Evaporatör fanı sökümü
7	Salınım kanatçıklarının sökümü	14	Klima Motoru sökümü

Klima demontajı teknolojik öncelik diyagramı Şekil 4’de gösterilmektedir.



Şekil 4. Görevler arası öncelik diyagramı

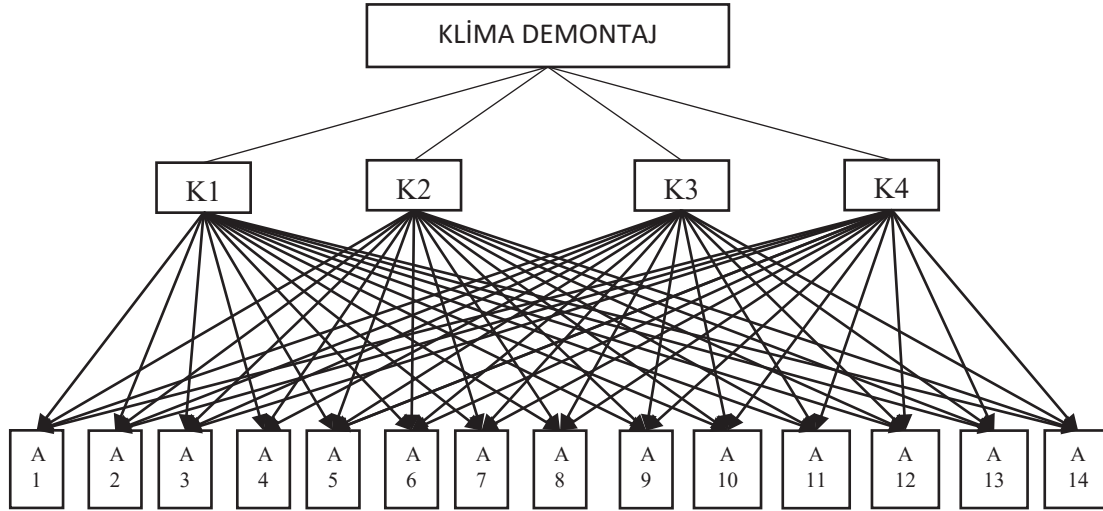
Problemin çözümünde dikkate alınan kriterler literatürdeki çalışmalardan ve klima teknisyeninden alınan bilgiler ışığında Tablo 4’de gösterildiği gibi belirlenmiştir.

Tablo 4. Kriterler

KRİTERLER	
K1	YÜKSEK GETİRİSİ OLAN PARÇALARA ÖNCELİK VERMEK
K2	ÖNCE İLK PARÇALARI SÖKMEK
K3	ÇOK TALEP EDİLENLERE ÖNCELİK VERMEK
K4	SÖKME SÜRESİ KISA OLANA ÖNCELİK VERMEK

4.1. AHP ile Çözümü

Klima demontajı için oluşturulan hiyerarşik yapı Şekil 5' de gösterilmektedir.



Şekil 5. Hiyerarşik yapı

AHP yöntemiyle kriter ağırlıklarının belirlenmesi için yapılan ikili kriter karşılaştırması Tablo 5'de gösterilmektedir.

Tablo 5. Kriterlerin ikili karşılaştırılması

	K1	K2	K3	K4
K1	1,000	4,000	1,000	4,000
K2	0,250	1,000	0,250	0,167
K3	1,000	4,000	1,000	0,250
K4	0,250	5,988	0,714	1,000

AHP yöntemi sonucunda elde edilen kriter ağırlıkları Tablo 6'da gösterilmiştir.

Tablo 6. Kriter ağırlıkları

w_i		
0,436	λ_{max}	4,144
0,070	CI	0,038
0,263	RI	0,9 (n=4)
0,231	CR	0,042<0,1 (tutarlı)

4.2. PROMETHEE Çözümü

Alternatif klima parçalarının kriterlere göre aldıkları değerler Tablo 7'de gösterilmektedir.

Tablo 7. Alternatiflerin kriterler karşısında aldıkları değerler

	K1	K2	K3	K4
A1	3	3	1	12
A2	30	3	3	15
A3	10	4	2	12
A4	5	3	1	8
A5	2	4	1	10
A6	10	5	3	10
A7	25	4	3	40
A8	8	1	3	35
A9	80	1	5	70
A10	65	5	5	55
A11	9	1	3	30
A12	80	3	4	45
A13	40	1	2	15
A14	90	1	5	40
w_i	0,436	0,070	0,263	0,231
Mak/Min	mak	mak	mak	min
Fonks.	5. tip	3. tip	3. tip	3. tip

AHP yöntemi ile elde edilen kriter ağırlıkları dikkate alınarak PROMETHEE yöntemi ile klima parçaları Tablo 8'deki gibi sıralanmıştır. Çevrim süresi 70 saniye olarak belirlenmiştir. Hat dengelemesi normal bir şekilde yapıldığında 7 tezgâh kullanılarak atıl süre 93 saniye olarak belirlenmiştir. Tablo 8'de elde edilen sıralama dikkate alınarak hat dengelendiğinde aynı şekilde 7 tezgâh kullanılarak hat dengelenmiştir. Ancak Kriterlerin dikkate alınması parçaların sökölme sırasında değişikliklere sebep olmaktadır.

Tablo 8. PROMETHEE sonucu

	Φ^+	Φ^-	Φ_{net}
A14	0,6048	0,0485	0,5563
A10	0,5862	0,1006	0,4855
A12	0,4970	0,0275	0,4695
A9	0,5712	0,1896	0,3816
A2	0,3402	0,2224	0,1178
A7	0,3224	0,2284	0,0940
A13	0,3028	0,2635	0,0393
A6	0,1437	0,2955	-0,1518
A3	0,0615	0,3157	-0,2542
A11	0,0708	0,3439	-0,2732
A8	0,0640	0,3439	-0,2799
A4	0,0447	0,4276	-0,3829
A1	0,0447	0,4444	-0,3997
A5	0,0447	0,4470	-0,4023

5. SONUÇ

Tüketim alışkanlıklarının değişmesiyle birlikte atık sayılarında her geçen gün ciddi artışlar yaşanmaktadır. Atıkların toplanması, bertarafı ve en önemlisi geri kullanımı önem arz etmektedir. Atıkların geri kullanımı için sökme hatlarının verimli bir şekilde kullanılması gerekmektedir. Çalışmamızda buradan ilham alarak ÇKKV yöntemlerinden AHP ve PROMETHEE yöntemleri kullanılarak klima demontajındaki parçaların söküm sırasının belirlenmesi hedeflemiştir. Tablo 8’de gösterilen PROMETHEE öncelik sıralaması ve Şekil 4’deki teknolojik öncelik diyagramı dikkate alınarak klima demontajı gerçekleştirilirse sıralama 4-1-2-3-5-6-10-14-12-7-9-13-11-8 şeklinde belirlenmiştir. Yapılan çalışma işlerin aynı tezgâhlarda yapılabileceği varsayımı altında çözülmüştür. İleride yapılacak çalışmalarda iş öğelerinin özelliğine göre tezgâh ataması yapılabilir.

6. KAYNAKLAR

Bedir, N., Özder, E. H., Eren, T., (2016). Course Selection with AHP & PROMETHEE Methods for Post Graduate Students: An Application in Kirikkale University Graduate School of Natural and Applied Sciences. The 3rd International Conference on Industrial Engineering and Applications (ICIEA 2016) in Hong Kong, during April 28-30.

Bedir, N., Eren, T., (2015). AHP-PROMETHEE Yöntemleri Entegrasyonu ile Personel Seçim Problemi: Perakende Sektöründe Bir Uygulama. Social Sciences Research Journal,4 (4), 46-58, 2015.

Bedir N., Özder E.H., Eren T. (2015). The Third Party Logistics Firm Selection Using Of AHP-PROMETHEE Methods. XIII.International Logistics and Supply Chain Congress 22-23 October 2015, Izmir, Turkey.

Brans, J. P., & Vincke, P. (1985). Note—A Preference Ranking Organisation Method: (The PROMETHEE Method for Multiple Criteria Decision-Making).Management science, 31(6), 647-656.

Çiftlik, S.,Handırı, İ., Beyhan, M., Akçil, A. U., Ilgar, M., Gönüllü, M. T. (2009). Elektrikli ve Elektronik Atıkların (E-Atık) Yönetimi, Ekonomisi ve Metal Geri Kazanım Potansiyeli Bakımından Değerlendirilmesi. Türkiye’de Katı Atık Yönetimi Sempozyumu, 1-8.

Dagdeviren, M., & Eraslan, E. (2008). Supplier selection using PROMETHEE sequencing method. Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 23(1), 69-75.

Gupta, S. M., & Taleb, K.N., (1994). Zamanlama sökme. Üretim Araştırmaları Dergisi , 32 (8), 1857-1866.

Güngör, A. andGupta, S.M., (1999). Issues in environmentally conscious manufacturing and product recovery: a survey, Computers and Industrial Engineering, 36 (4), 811–853.

Hsu, C. H.,Wang, F. K., &Tzeng, G. H. (2012). The best vendor selection for conducting the recycled material based on a hybrid MCDM model combining DANP with VIKOR. Resources, Conservation and Recycling, 66, 95-111.

Karadağ, A., A., (2012). Paralel İstasyonlu Çok Amaçlı Demontaj Hattı Dengeleme Problemi, Doktora Tezi, Gazi Üniveristesi, Ankara.

McGovern, S. M., & Gupta, S. M., (2007). A balancing method and genetic algorithm for disassembly line balancing. European Journal of Operational Research, 179(3), 692-708.

McGovern, S. M., & Gupta, S. M., 2007. Combinatorial optimization analysis of theunary NP-complete disassembly line balancing problem. International Journal of Production Research, 45(18-19), 4485-4511.

Özceylan, E. (2013). Demontaj hattı dengeleme problemi içeren kapalı çevrim tedarik zincirlerinin bulanık ortamda modellenmesi ve optimizasyonu. Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Özder, E. H., Bedir, N., Eren, T., (2016). Academic Staff Selection With Anp & Promethee Method: A Case Study In Turkey. International Academic Conference on Engineering, Technology and Innovations (IACETI), Dubai, UAE, March 5th, 2016.

Saaty, T. L., (1990). How tomake a decision: the analytic hierarchy process. European journal of operational research, 48(1), 9-26.

Saaty, T. L. (2000). Fundamentals of decision making and priority theory with the analytic hierarchy process (Vol. 6). Rws Publications.

Wibowo, S.,& Deng, H. (2015). Multi-criteria group decision making for evaluating the performance of e-waste recycling programs under uncertainty. Waste Management, 40, 127-135.

Vinodh, S., Prasanna, M., & Prakash, N. H. (2014). Integrated fuzzy AHP–TOPSIS for selecting the best plastic recycling method: a case study. Applied Mathematical Modelling, 38(19), 4662-4672.



Fine Kinney Risk Analizi Yönteminde Risk Analizi Yönteminde Risk Faktörlerinin Hesaplama Zorlukları ve Çözüm Önerileri

Calculation Challenges and Solution Suggestions for Risk Factors in the Risk Analysis Method in the Fine Kinney Risk Analysis Method

Burak BİRGÖREN*¹

¹Kırıkkale Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 71450 KIRIKKALE

Başvuru/Received: 29/08/2016

Kabul/Accepted: 16/11/2016

Son Versiyon/Final Version: 15/01/2017

Öz

Fine Kinney yöntemi iş sağlığı ve güvenliği risk analizinde çok yaygın kullanılan yöntemlerdendir. Yaygın kullanımına karşın bu yonteme dair bilimsel literatürün kısıtlı oluşu yöntemin matematiksel temellerinin ve kısıtlarının endüstriyel uygulamacılar tarafından doğru anlaşılmasını engellemiştir. Bu çalışma yöntemin risk faktörlerinin hesabında altı temel problem olduğunu öne sürmekte ve bunlar için çözümler önermektedir. Esas problem frekans ve olasılık faktörlerinin ve bunların arasındaki ilişkinin doğru anlaşılmasındaki sıkıntılardır. Ne yazık ki yonteme ait temel bir referansta bile tanımlamaların muğlak şekilde yapılmış olması problemi daha da büyötmektedir. Çalışmada temel olasılık teorisi kullanılarak problemler ortaya konmuş ve çözümler sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler

“Fine Kinney, risk analizi, iş sağlığı ve güvenliği.”

Abstract

The Fine Kinney method is an extensively employed risk analysis method in occupational health and safety. In spite of its widespread use the scientific literature has remained rather limited, which has hindered understanding its mathematical foundations and limitations by the industry users. This research argues that there are six main problems in calculation of risk factors and proposed solutions. The main problem lies in the lack of correct understanding of the frequency and probability factors and their relation. Unfortunately, vague definitions, even in one of the essential references, adds to this problem. Basic probability theory is employed for laying out the problems and for solutions.

Key Words

“Fine Kinney, risk analysis, occupational health and safety”

1. GİRİŞ

2012 yılında yürürlüğü giren 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanununda, risk değerlendirmesinin kanun kapsamına giren her işyerinin yükümlülüğü olduğu ve bunun işverenin sorumluluğunda bulunduğu ifade edilmektedir. Risk değerlendirmesinin nasıl gerçekleştirileceği ayrıca bir yönetmelikle düzenlenmiştir [1]. Risk değerlendirmesinin ilk adımı tehlikelerin belirlenmesini, ikinci adımı ise belirlenen tehlikelerden kaynaklanan risklerin analizini içerir. Risk analizinde risklerin birbirlerine kıyasla büyüklükleri saptanarak risklerle mücadelede önceliğin hangilerine verileceği karşılaştırılır. Bu adım oldukça önemlidir, çünkü genellikle bir işyerinde bütçe ve insan kaynakları gibi imkânlar tüm risklerin eş zamanlı kontrolü ve azaltılması için çok yetersizdir, öncelik büyük olanlara verilmelidir. Takip eden risk değerlendirmesi adımlarında ise, bu adımda belirlenen risk öncelik sırasına göre risk kontrol tedbirlerinin karşılaştırılması, uygulanması ve uygulamaların izlenmesi gerçekleştirilir [1].

Risk analizi için kullanılan çeşitli yöntemler vardır. Bu çalışmanın konusu olan Fine Kinney risk analizi yöntemi bunlardan biridir, kısaca Kinney yöntemi olarak da adlandırılır. Yöntemi ilk olarak Fine 1971 yılında önermiştir [2]. Ardından 1976 yılında Kinney ve Wiruth tarafından yeniden ele alınarak daha ayrıntılı bir risk analizi yöntemi haline getirilmiştir [3]. Bu çalışma oldukça eski olmasına rağmen bu yöntem için halen temel referans olarak alınmaktadır.

Yöntem İş Sağlığı ve Güvenliği (İSG) risk değerlendirmesi için özellikle Avrupa’da çok yaygın şekilde kullanılmaktadır [4]. Kullanımı 2012 yılı sonrasında Türkiye’de de giderek yaygınlaşmaktadır. Örneğin çimento sektöründe sıklıkla kullanılmaktadır [5], ayrıca büyük inşaat firmaları ve büyük ölçekli sanayi firmalarında kullanımının hızla arttığı gözlenmektedir.

Yöntemde üç risk faktörü çarpılarak risk puanı (R) elde edilir; bunlar Frekans (F), Olasılık (O) ve Şiddet (S)’tir.

$$R = F \cdot O \cdot S \quad (1)$$

Tablo 1, 2 ve 3’te bunlara ilişkin skalalar verilmiştir.

Tablo 1. Frekans skalası

Frekans (F)	F Değeri
Sürekli	10
Sık (Günde bir defa)	6
Ara Sıra (Haftada bir defa)	3
Sık Değil (Ayda bir defa)	2
Seyrek (Yılda birkaç defa)	1
Çok Seyrek (Yılda bir veya daha seyrek)	0.5

Tablo 2. Olasılık skalası

Olasılık	O Değeri
Beklenir, kesin	10
Oldukça mümkün (%50-%50)*	6
Seyrek ama olası	3
Düşük olasılık ama mümkün	1
Çok düşük olasılık, beklenmez	0.5
Pratik Olarak İmkansız	0.2
Neredeyse İmkansız	0.1

*parantez içindeki ifade Fine’a aittir.

Tablo 3. Şiddet skalası*

Şiddet	S Değeri
Birçok Ölümün Yaşandığı Bir Felaket	100
Birden Fazla Ölümlü Kaza	40
Ölümlerle Sonuçlanabilecek Çok Ciddi Yaralanma	15
Ciddi yaralanma (uzuv kaybı, kalıcı sağlık problemleri/iş göremezlik)	7
Önemli Yaralanma (dış ilk yardım gerekli)	3
Küçük Yaralanma, ilk yardıma ihtiyaç	1

*parantez içindeki ifadeler daha açıklayıcı olması için eklenmiştir. Maddi zarar ifadeleri ise güncel olmadıkları için burada verilmemiştir.

Bu üç değerin çarpılmasıyla elde edilen risk puan düzeyleri de nlem düzeyi ve önceliğine göre Tablo 4'te gösterildiği Şekilde sınıflandırılmıŐtır:

Tablo 4. Risk düzey sınıflandırması

Risk (R)	Risk Değerlendirme Sonucu
$R > 400$	ok Büyük Risk: hemen gerekli önlemler alınmalı, sürecin durdurulması düşünülmelidir.
$200 \leq R \leq 400$	Esaslı Risk: Hemen nlem alınmalıdır.
$70 \leq R < 200$	nemli Risk: nlem ihtiyacı vardır.
$20 \leq R < 70$	Olası Risk: Süreç gözetim altında uygulanmalıdır.
$R < 20$	nemsiz Risk: nlem ncelikli Değildir.

Yöntemin yaygın kullanımına karşın bilimsel literatürde yöntem üzerine oldukça az sayıda çalışma yapılmıştır.

Marhaviyas vd. risk analizi ve değerlendirmesi yöntemlerinin ayrıntılı bir literatür taramasını sunmuŐlar, bu çalışmalarında Fine Kinney yöntemi ve benzeri yöntemleri ele almıŐlardır [6]. Bu çalıŐmadan görülmektedir ki Fine Kinney yönteminde risk hesabının üç farklı faktörün çarpımıyla hesaplanması yaklaşık 2000'li yıllarda geliŐtirilen farklı yöntemlerde de kullanılmıştır. Marhaviyas ve Koulouriotis'in *Oransal Risk Değerlendirmesi* yöntemi bunlara örnek olarak verilebilir [7, 8].

Türkçe literatürde zkılı [9] Fine Kinney yöntemini genel hatlarıyla açıklamıŐ, ayrıca Tablo 1-4'te yer alan skalaların güncel adaptasyonlarını sunmuŐtur. Oturaklı vd. [10] ise yöntemdeki skalayı deęiŐtirerek yeni bir yöntem önermişlerdir.

2. RİSK FAKTÖRLERİNİN HESAPLANMASINDA ZORLUKLAR VE ZMLER

Fine Kinney yönteminin uygulamasında yaŐanan en büyük sıkıntılardan biri hesaplamada kullanılan faktörlerin doğru anlaŐılmaması ve bu yüzden yanlış risk puanları elde edilmesidir. Öncelikle faktörlerin ne anlama geldiği, Stankovic vd. [11] tarafından verilen tanımlar kullanılarak ele alınacaktır:

Olasılık: Bir kaza ya da hasarın olasılığı.

Frekans: Tehlike oluşumunun sıklığı.

Şiddet: Bir kaza durumunda sonuçlarının şiddeti.

Kinney vd. [3] tarafından bu faktörler daha uzun Şekilde açıklansa da açıklamalar yukarıdaki tanımlarla örtüşmektedir. Benzer tanımlar diğer birçok kaynakta da yer almaktadır [4-10].

Bu tanımlar esas alınarak bunların hesaplanmasındaki problemler aşağıdaki Şekilde sınıflandırılmıŐ, her biri için zm nerileri tartıŐılmıŐtır.

1. problem: Olasılık tanımının hatalı olması

Yukarıdaki faktör tanımlarındaki temel sıkıntı olasılık faktörünün yanlış anlaşılması ve uygulanmasından kaynaklanmaktadır. Bu tanımlara göre olasılık ve frekans faktörleri iki bağımsız faktör olarak modellenir. Ancak bu durumda gerekenden daha düşük risk puanları elde edilecektir. Bunun izahına geçmeden önce tanımdaki yanlışla değinilecektir. Bu problem aslında Kinney vd.'nin olasılık ve frekans faktörleri arasındaki ilişkiyi net bir Şekilde ortaya koymamalarından kaynaklanmaktadır [3]. Aslında yöntemi ilk ortaya koyan Fine bu ayrımı net bir Şekilde yapmıŐ ve olasılık faktörünü Őöyle tanımlamıŐtır:

Olasılık: Tehlike meydana geldiğinde bir kaza ya da hasarın olasılığı.

Bu ayrıntılı tanım internetten de temin edilebilecek birçok Fine Kinney yöntemi kılavuzunda yapılmazken (rneğin bakınız [5]) bu yöntemden esinlenerek geliŐtirilen ISO 14121-1 standardında belirgin Şekilde yapılmış olması dikkat çekicidir [12]; nk standartlar söz konusu olduğunda yöntemin matematiği dikkatlice masaya yatırılmaktadır. Yöntemin birçok uygulayıcı ise bu ayrımın farkında değildir.

Problemi bir örnekle ele alalım.

rnek: Bir çalışanın el taşlama operasyonu yaparken gözünün yaralanması riskini değerlendirelim. Tehlikeyi çalışanın gerekli güvenlik önlemlerini almadan çalışması (koruyucu gözlük kullanmama, makine koruyucusu olmaması) olarak ifade edelim. Frekans faktörü puanlanırken taşlama operasyonunda bu tehlikenin ne sıklıkla meydana geldiği dikkate alınır. Yaklaşık haftada bir meydana geldiğini varsayarsak $F = 3$ olur. Olasılık faktörü puanlanırken cevaplanması gereken soru ise Őudur: 'Bahsi geçen

güvenlik önlemleri alınmadan çalışma yapılırken göz yaralanması olasılığı nedir?" Diyelim ki bu olasılık "seyrek ama olası" şeklinde değerlendirildi; bu durumda $O = 6$ olur. Dolayısıyla $F \cdot O = 18$ 'dir. Bu soru sadece "çalışma yapılırken göz yaralanması olasılığı nedir?" şeklinde sorulsaydı muhtemelen olasılık faktörü daha düşük puanlanacak $O = 1$ ya da $O = 3$ olacaktı, bu durum $F \cdot O$ çarpım değerini düşürecek.

Fine'in tanımının kullanılmasının gerekliliği olasılık teorisine gösterilebilir. Fine'in olasılık faktörü tanımındaki ifade bir koşullu olasılık ifadesidir. Olasılık teorisinde K göz yaralanması (kaza) olayını, T de güvenlik önlemlerinin alınmaması olayını (tehlike) ifade etsin. Bu durumda P olasılık ifadesi olmak üzere

$$P(K) = P(T) \cdot P(K/T) \quad (2)$$

şeklinde yazılır. $P(K/T)$ bahsi geçen koşullu olasılık ifadesidir. Bu formüldeki ifadeler matematiksel olasılık ifadeleridir, 0 ile 1 arasında değer alır. Formülün nasıl çalıştığını anlamak için yine verilen örneğe dönelim. Güvensiz çalışmanın 7 günde bir yapıldığını, kaza istatistiklerine göre her 10 güvensiz çalışmanın birinde de göz yaralanması gerçekleştiğini düşünelim. Bu durumda $P(T) = 1/7$ ve $P(K/T) = 1/10$ olur. Dolayısıyla $P(K) = 1/70$ elde edilir, yani herhangi bir günde yaralanma olasılığı $1/70$ 'tir; diğer bir deyişle 70 güne bir kaza düşmektedir. Fine Kinney yöntemi burada görülen matematiksel olasılık ifadelerini kullanmak yerine bu değerlerin dönüştürülmesiyle elde edilen Tablo 1 ve 2'deki değerleri kullanmaktadır. Dolayısıyla $P(T) = 1/7$ yerine $F = 3$, $P(K/T) = 1/10$ yerine de $O = 6$ kullanılmıştır. Elbette Tablo 1 ve 2'de $1/7$ ve $1/10$ değerlerinden sırasıyla 3 ve 6 değerlerinin nasıl elde edileceği görülmektedir; bunun için Özkılıç'ın verdiği daha ayrıntılı skalalara başvurulabilir [9]. Ayrıntılı skalalar 3. problem başlığı altında ele alınacaktır.

Eğer ilk verilen yanlış olasılık faktörü tanımı kullanılsaydı kaza olasılığı $P(K) = P(T) \cdot P(K)$ gibi bir tutarsız formülle elde edilecek ve sonuçta $P(K) = 1/490$ bulunacaktı. Bu örnekte net görülen tutarsızlık ne yazık ki Tablo 1 ve 2'deki skalalar dönüştürülmüş olduğu için uygulayıcılar tarafından fark edilememektedir. Bu durumda da O değeri 6'dan daha düşük olacaktır.

2. problem: Kazanın tek nedene dayandırılması gerekliliği

Denklem 2 ancak kazanın tek bir nedeni (tehlike) varsa geçerlidir. Eğer bir kazanın n adet nedeni varsa ve bunlar olasılık teorisinde ayrık T_1, T_2, \dots, T_n olayları olarak modellenilebilirse Denklem 2 şu şekli alır:

$$P(K) = P(T_1)P(K/T_1) + \dots + P(T_n)P(K/T_n) \quad (3)$$

Dolayısıyla tehlike-kaza modellemesi Denklem 2 ya da 3'ü kullanacak şekilde ele alınmalıdır: Ya tehlikeler tek bir başlık altında tek bir tehlike varmış gibi muamele görmeli ya da her tehlikeden kaynaklı kaza için ayrı ayrı muamele yapılmalıdır.

El taşıma operasyonu örneğinde göz yaralanmasının ikinci bir nedeni yetersiz aydınlatma nedeniyle gözlüğün sık sık çıkarılarak çalışılması olsun. Bu durumda bir yaklaşım tehlikenin güvensiz çalışma koşulları (koruyucu gözlük kullanmama, makine koruyucusu olmaması, yetersiz aydınlatma) şeklinde daha genel bir ifadeyle tanımlanması ve bu tehlike ifadesine göre olasılık ve frekans değerlerinin belirlenmesidir. Böylece yine Denklem 2 kullanılır. İkinci seçenek ise çalışanın gerekli güvenlik önlemlerini almadan çalışması (koruyucu gözlük kullanmama, makine koruyucusu olmaması) sonucu göz yaralanması ve yetersiz aydınlatma nedeniyle göz yaralanması şeklinde iki farklı risk tanımlayarak bunların ayrı ayrı puanlanmasıdır. Bu ikinci seçenek riskleri daha ayrıntılı şekilde ortaya koyduğu için birinciye kıyasla tercih edilebilir. Bu nedenle Denklem 3'te toplama işlemine gerek kalmaz.

Diğer taraftan ayrıntılı bir olasılık modellemesinde aslında bu nedenlerin ayrık olmadığı, beraber ortaya çıkabileceği gerçeği de değerlendirilmelidir. Örneğin çalışanın hem güvenlik önlemlerini almadığı hem de aydınlatmanın yetersiz olduğu çalışma zamanları da mümkündür. Bu ölçüde ayrıntılı bir analiz genellikle birçok işyerinde gereksizdir.

3. problem: İfadelerdeki sübjektiflik

Tablo 2 ve 3'te olasılık ve frekans ifadeleri oldukça sübjektiftir. 1. problemde ele alınan koşullu olasılık tartışmasından sonra Tablo 2'deki olasılık ifadelerinin neden sübjektif olduğu daha iyi anlaşılabilir. Çünkü tehlike meydana geldiğinde kaza olasılığı tahmini oldukça güçtür. Dolayısıyla uzmanların sübjektif görüşlerine ihtiyaç duyulur. Ancak bu çalışmada frekans faktörüne karar verirken Tablo 3'ün daha iyi yorumlanabilmesi için Tablo 5'teki ayrıntılı skala geliştirilmiştir. Bu skala Özkılıç tarafından önerilen skalaya benzemektedir [9]:

Tablo 5. Ayrıntılı Frekans skalası

Frekans	F Değeri
100 tekrarın/zaman biriminin 90-100'ü	10
100 tekrarın/zaman biriminin 14-89.99'u	6
100 tekrarın/zaman biriminin 2-13.99'u	3
100 tekrarın/zaman biriminin 0.5-1.99'u	2
100 tekrarın/zaman biriminin 0.042-0.49'u	1
100 tekrarın/zaman biriminin < 0.041'i	0.5

Örneğin Tablo 5'e göre taşlama operasyonunda çalışan yüz çalışma saatinin 2-13.99 saati gerekli güvenlik önlemlerini almadan çalışıyorsa frekans değeri $F = 3$ olacaktır.

Her ne kadar tehlike meydana geldiğinde olasılık hesabı için subjektif ifadeler faydalı olsa da işyerinde ayrıntılı kaza istatistikleri mevcut olduğunda olasılık faktör değerlerinin üretilmesi için bu istatistiklere başvurulmalıdır; bu ise kafa karıştırıcıdır.

Örnekte diyelim ki kaza istatistikleri 120 günde bir göz yaralanması olduğunu göstermektedir, yani tahmini olarak $P(K) = 1/120$ 'tır. Ayrıca çalışanın yaklaşık olarak 100 çalışma saatinin 10'unda güvensiz çalıştığı öngörülmüştür. Bu durumda Tablo 5'e göre tahmini olarak $P(T) = 10/100 = 1/10$ olur. Denklem 2'de bu değerler yerine konduğunda $P(K/T) = 1/12$ olarak elde edilir. Bu değeri Tablo 2'de kullanarak olasılık faktör değerini elde etmek mümkün değildir. Bunun yerine Özkılıç'ın önerdiği Tablo 6'daki skala kullanılabilir [9]:

Tablo 6. Ayrıntılı olasılık skalası

Gerçek olasılık değeri P	O Değeri
$10^{-1} < P$	10
$10^{-2} \leq P < 10^{-1}$	6
$10^{-3} \leq P < 10^{-2}$	3
$10^{-4} \leq P < 10^{-3}$	1
$10^{-5} \leq P < 10^{-4}$	0.5
$10^{-6} \leq P < 10^{-5}$	0.2
$P < 10^{-6}$	0.1

Örnekteki 1/12 değeri Tablo 6'da ikinci satıra uymaktadır; bu nedenle $O = 6$ olur.

Marhavilas vd. [7, 8] gerek Fine Kinney yöntemini açıklarken gerekse bu yöntemle benzer şekilde geliştirdikleri Oransal Risk Değerlendirmesi yönteminde

1. problemde bahsedilen yanlış olasılık hesabını kullanmaktadır. Bilimsel literatürde bu problem, yöntem üzerine yayınların azlığından dolayı dikkat çekmemekle birlikte, işyeri uygulamalarında bahsi geçen yanlış hesaplamaların sıkça yapıldığı gözlenmektedir. Aynı örnekte bu yanlış şu şekilde yapılacaktır: Olasılık faktör hesabında $P(K/T) = 1/12$ yerine $P(K) = 1/120$ esas alınacak, bu durumda Tablo 6'dan $O = 3$ elde edilecek, bu da risk düzeyini olduğundan daha düşük gösteren bir etki üretecekti.

4. problem: Şiddetin tahmini

Bu problemle diğer risk analizi yöntemlerinde de karşılaşılır. Kaza meydana geldiğinde olası sağlık problemi doğru şekilde Tablo 3'ten seçilmelidir. Eğer geçmiş kaza kayıtları varsa rahatlıkla düzey tahmini yapılabilir. Örnekte göz yaralanmaları genellikle göze batan parça nedeniyle hastanede parçanın gözden operasyonla alınması ve ardından çalışana birkaç gün rapor verilmesi şekline geliyorsa bu durumda Tablo 3'te $\mathcal{S} = 3$ alınır. Dolayısıyla $R = F \cdot O \cdot \mathcal{S} = 3 \cdot 6 \cdot 3 = 54$ bulunur, bu da Tablo 4'e göre göz yaralanması riskinin olası risk olarak sınıflandırılmasını sağlar.

Eğer geçmiş kaza istatistikleri yoksa ya da kaza daha önce hiç olmadıysa şiddet tahmini genellikle zordur. Bu durumda düşülebilecek bir yanlış, şiddetin olması gerekenden daha düşük tahmin edilmesidir; bu doğaldır çünkü kaza piramitlerinden de iyi bilindiği gibi bir kaza oluşumunun ardından ramak kala olaylar veya beklenenden hafif yaralanmalar sıklıkla başa gelir; bu da puanlamada risk analiz ekibini yanıltabilir. Bu tür durumlarda işyeri hekimine danışılması ve olası ciddi sonuçların bir miktar kötümserlikle tahmin edilmesi tavsiye edilir.

5. problem: Çalışan sayısı

Aynı riske maruz kalan birden çok çalışan olması durumunda puanlamada hatalar olabilmektedir. Birden çok çalışan esas olarak frekans faktör değerini etkiler. Bu zorluğu aşmak için frekans puanı riske maruz kalan tüm çalışanların tehlikeye maruziyet sıklığı dikkate alınarak yapılmalıdır. Olasılık ise işi yapan bir çalışan düşünülerek puanlanmalıdır; bunun için de en güvenli, en güvensiz ya da en tecrübesiz çalışan değil, tehlikeye maruz kalanların ortalamasını temsil eden bir çalışan düşünülmelidir.

Taşlama örneğinde bir işçinin tehlikeye haftada bir maruz kaldığı ifade edilmişti. Eğer aynı işi yapan 6 çalışan varsa bu çalışan grubu yaklaşık günde bir kez bu tehlikeye maruz kalacaktır. Dolayısıyla Tablo 1’de $F = 6$ seçilecek fakat $O = 6$ şeklinde aynı kalacaktır. Sonuç olarak $R = 6 \cdot 6 \cdot 3 = 108$ olacaktır.

Bu tür durumlarda yapılan yaygın yanlış, hesaplamanın bir işçi için yapılması ve ardından işçi sayısı ile çarpılmasıdır. Örneğin 4. problem başlığı altında bir çalışan için $R = 54$ bulunmuştu; 6 işçi için $R = 54 \cdot 6 = 324$ gibi çok yüksek bir değer elde edilecektir ki bu sonuç yanlıştır. Bunun esas nedeni Fine Kinney yönteminin ordinal skalalar [4] önermesidir; diğer bir deyişle elde edilen risk puanları çarpılamaz ya da toplanamazlar, sadece risklerin sıralanması sağlamak için kullanılabilirler. Bu probleme 6. problem başlığı altında değinilecektir.

6. problem: Risk puanlarının anlamları

Fine Kinney yönteminin ordinal skalalar kullanması [4] nedeniyle elde edilen risk puanları ancak sıralama amaçlı kullanılabilir. Taşlama örneğinde bir başka riskin puanı 108 ise bu risk 54 puanlık göz yaralanması riskinin iki katı daha büyüktür denemez. Yanılığa düşmemek için yöntemin bu karakterini dikkate alarak hazırlanan Tablo 4 kullanılması, oransal risk kıyaslamaları yapılmamalıdır.

3. SONUÇ

Bu çalışmada Fine Kinney risk analizi yönteminde kullanılan risk faktörlerinin puanlanmasında ve risk düzeyinin yorumlanmasında karşılaşılan problemler altı ana başlık altında özetlenmiş, özellikle olasılık teorisi kullanılarak yanlışların temelleri sorgulanmıştır. Her bir problem için çözüm önerileri sunulmuştur. Bunların içinde özellikle olasılık ve frekans faktörlerine ait sıkıntıların öne çıktığı görülmektedir. Bunlardaki temel sıkıntı faktörlerin tanımlarının net yapılmaması ve bu nedenle yanlış yorumlanarak uygulanmasıdır. Temel bir çözüm olarak Fine’in [2] orijinal tanımlarına dönülmesi önerilmiş; bu tanımlardan hareketle koşullu olasılık formülleri verilerek teorik altyapı sağlamlaştırılmıştır.

4. KAYNAKLAR

İş Sağlığı ve Güvenliği Risk Değerlendirmesi Yönetmeliği, Resmi Gazete Sayısı:28512, 29 Aralık 2012.

Fine, W. T., “Mathematical evaluation for controlling hazards”, Journal of Safety Research, 3(4), 157-166, 1971.

Kinney, G.F., Wiruth, A.D., (1976), “Practical risk analysis for safety management”, NWC Technical publication 5865, Naval Weapons Center, China Lake CA, USA, 1976.

Babuş G., Moraru R., Cioca L. “Kinney-Type Methods: Useful or Harmful Tools in the risk assessment and management process?” International Conference on Manufacturing Science and Education-SIBIU-Romania, 2011.

“Çimento Sektöründe İSG Yaklaşımı ve Genel İSG Uygulamaları”, Türkiye’de Mesleki ve Teknik Eğitimin Kalitesinin Artırılması (METEK) Hibe Programı, İş Sağlığı ve Güvenliği Mesleki Eğitim Etkinliğinin Artırılması Projesi (TRH2.2.IQVETII/P-03/317), 2015.

Marhavilas, P.K., Koulouriotis, D., Gemeni, V., “Risk analysis and assessment methodologies in the work sites: On a review, classification and comparative study of the scientific literature of the period 2000-2009”, Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 24, 477-553, 2011.

Marhavilas, P. K., & Koulouriotis, D. E., “A risk estimation methodological framework using quantitative assessment techniques and real accidents’ data: application in an aluminum extrusion industry”, Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 21(6), 596–603, 2008.

Marhavilas, P. K., “Risk Estimation in the Greek Constructions’ Worksites by using a Quantitative Assessment Technique and Statistical Information of Occupational Accidents”, Journal of Engineering Science and Technology Review, 2(1), 51-55, 2009.

Özkılıç, Ö., “İş Sağlığı, Güvenliği ve Çevresel Etki Risk Değerlendirmesi”, MESS Yayınları, Yayın No:540, 2007.

Oturakçı, M., Dağsuyu, C., Kokangül, A., “A New Approach to Fine Kinney Method and an Implementation Study”, Alphanumeric Journal: The Journal of Operations Research, Statistics, Econometrics and Management Information Systems, 3(2), 083-092, 2015.

Stankovic, M., Stankovic, V., “Comparative Analysis of Methods for Risk Assessment – Kinney and Auva”, *Safety Engineering*, 3(3), 129-136, 2013.

TS EN ISO 14121-1: Makinalarda güvenlik- Risk değerlendirmesi - Bölüm 1: Prensipler, 2007.



e-issn: 1308-5514