

AKÜ FEMÜBİD 20 (2020) 065301 (991-1013)

AKU J. Sci. Eng. 20 (2020) 065301 (991-1013)

DOI: 10.35414/akufemubid.819645

Araştırma Makalesi / Research Article

Bulanık Mantık ile Sanayii Sektöründe ISO 50001 Enerji Yönetim Sistemi Uygulaması

Çetin Önder İNCEKARA ¹¹ BOTAŞ, Transit Boru Hatları Müdürü, Dr., ANKARA.e-posta: cetinincekara@gmail.com. ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-1927-8208>

Geliş Tarihi: 02.11.2020

Kabul Tarihi: 23.12.2020

Öz

Enerji; ülkelerin ekonomik büyümesi için olmazsa olmaz bir unsurdur. Günümüzde sanayide toplam üretim maliyetlerinin %50'sini enerji maliyetlerinin oluşturduğundan şirketlerde enerji maliyetlerini düşürmek ana hedef olmuştur. Bu kapsamda yapılması gereken en önemli uygulama enerji tasarrufuna, verimliliğine yatırımdır. Şirketler enerji kaynaklarını verimli kullanarak enerji maliyetlerini azaltabilirler. Bu durum etkin enerji yönetim sistemi ile mümkün olup sistem şirketler için (enerji maliyetleri açısından) bir zorunluluk olmuştur. Söz konusu çözüm sistemi ise uluslararası standart olan ISO 50001 Enerji Yönetim Standardı (EYS) dir. EYS standardı kapsamında; tesislerin enerji tükettiği önemli ünitelerin, ekipmanların (ısıtma ve soğutma sistemleri, kazanlar, pompalar, kompresörler, türbinler, fanlar, trafolar, motorlar vs.); enerji performansını izlemek için uygun enerji performans indikatörleri-EPI ve Referans Enerji Durumu-RES lerin tanımlanması gereklidir. Ayrıca tesisin enerji kullanımı, enerji tüketimi ile ilgili tesise uygun bir enerji veri periyodu ile baz değerleri belirlenir. Bu yüksek enerji tüketen yerlerin performansındaki her değişimin izlenmesi, yönetilmesi ve iyileştirilmesi anlamına gelmektedir. ISO 50001 EYS standardı kapsamında; elektrik tüketiminin azaltılması için ölçülebilir enerji hedeflerinin konulması ve sürekli iyileştirmelerin izlenmesi gerekmektedir. Çalışmada bir endüstriyel tesisinin ISO 50001 EYS uygulaması Karar Vericilerle (KV) görüşülerek değerlendirilmiş, tesiste enerji tüketen önemli ekipmanların enerji performans indikatörleri-EPI ve Referans Enerji Durumu-RES ler tanımlanmış, ekipmanların enerji verimliliği ve önemli enerji kullanımları (ÖEK) irdelenmiştir. Ayrıca tesiste kullanılan ÖEK formu ile İşletme Kriterleri formu oluşturulurken; çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemi olan Bulanık AHP (Analitik Hiyerarşi Prosesinden), Bulanık TOPSIS ve Bulanık VIKOR yöntemlerinden faydalanılmıştır. ISO 50001 EYS standardı ile endüstriyel tesislerde enerji verimliliğini artırarak küresel ısınma ile sera gazı salınımı sorunlarına çözüm getirmeyi amaçlamaktadır.

Anahtar kelimeler

Enerji Yönetim Sistemi;
Enerji Performans
İndikatörü-EPI;
Referans Enerji
Durumu-RES; Enerji
Yoğunluğu İndeksi-EDI;
Bulanık Mantık

ISO 50001 Energy Management System Application in Industrial Sector with Fuzzy Logic

Abstract

Energy; is the essential for economic development of countries. Today 50% of total production costs in industry are energy costs, therefore reducing energy costs in companies has been the main target. For this purpose the most important step is to make investments on energy saving and increase energy efficiency of equipment. Companies can reduce their energy costs by using their energy resources efficiently. This is only possible by applying an efficient energy management system that become a necessity for companies. The solution of it is to use the international standard ISO 50001 Energy Management Standard(EMS). Within the scope of EMS standard; the important equipment of the plants that consume most of the energy (heating and cooling systems, boilers, pumps, compressors, turbines, fans, transformers, etc.) are required to monitor their energy performance by using Energy Performance Indicators(EPI) and Reference Energy Situation-RES. As per EMS, energy base values are calculated by using an appropriate data period of energy usage and consumption of the facility. This means that high-energy consuming point's performance should be monitored. EMS's aim is to reduce the energy consumption amounts; measurable related targets should be set and the conditions of continuous improvements should be monitored. In the study EMS's applications in one of the industrial

Keywords

Energy Management
System; Energy
Performance Indicator-
EPI; Reference Energy
Situation-RES; Energy
Density Index-EDI;
Fuzzy Logic

plant is evaluated by conducting interviews with Decision Makers(DM); related EPIs and RES are defined, energy efficiency of the equipment and important energy usage(IEU) values are examined by using multi-criteria decision-making methods, i.e. Fuzzy AHP, Fuzzy TOPSIS and Fuzzy VIKOR. By using EMS, it aims to improve the energy efficiencies of the plant and bring solutions to global warming and greenhouse gas emissions.

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

1. Giriş

Enerji; yaşamımızın her alanına girmiş olup yaşamımız içinde olmazsa olmaz temel unsur olmuştur. Ülkemizdeki nüfus artışı, insanın hayat standartlarının yükselmesi, teknolojik cihazların hayatımızın her aşamasında kullanılıyor olması sebebiyle enerji tüketimimiz hızla artmaktadır. Söz konusu enerji tüketimimizdeki artış fosil kaynakları - özellikle doğal gaz ve petrol gibi kaynaklar-kullanarak elde ettiğimiz enerjiden karşılanması sebebiyle hem ülkemiz enerji bakımından yurtdışına bağlı olmakta hem de ülke ekonomimiz üzerinde ağır bir yük oluşturmaktadır.

Türkiye bugüne kadar ekonomisinin büyümesi için ihtiyaç duyduğu enerjiyi yeni enerji kaynakları ile karşılamaya çalışmıştır. Ülkemizin elektrik kayıp ve kaçak oranları % 13,4'e ulaşmış (ETKB 2018) olmasına rağmen bu oranı azaltamamış, enerji tasarrufu ve verimlilik fırsatlarını değerlendirememiştir. Enerjide verimlilik, iklim değişikliği ve çevresel sorunlar, sera gazı salınımı konusu çok az dikkate alınarak enerji ihtiyacımızı karşılamak için çok pahalı fosil yakıtlı enerji santralleri yatırımları yapılmış, enerjideki dışa bağımlılığımız ciddi boyuta ulaşmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1 ISO 50001:2018 Enerji Yönetim Sistemi (EYS)

ISO 50001:2018 EYS kapsamında tesislerin enerji verimliliği, tasarrufu ve buna bağlı çevresel zararları, ilgili maliyetlerinin azaltılması hedeflenerek; tesiste gerekli iyileştirmelerin yapılmasına olanak sağlanır. Tesiste EYS kurulması ile; tesisin çevresel etkilerini, sera gazı, karbon salınımları, enerji maliyetlerinin düşmesi sağlanır. Bu sebeplerden dolayı günümüzde EYS tesisler için (özellikle AB ülkeleri için) bir zorunluluk olmuştur. Altmıştan fazla ülkeden kullanılan ISO 50001 EYS; endüstriyel tesislerde enerji tasarrufu yapılmasını, giderleri düşürülmesini ve çevre gerekliliklerinin karşılanmasını

sağlamaktadır. Bir ürünün maliyetini belirleyen en önemli kalem enerji maliyetidir. EYS ile söz konusu maliyeti kontrol altında tutarak kontrollü bir şekilde enerji tüketimi ve maliyeti azaltılabilir. Özellikle enerji yoğun çalışan sektörlerde ve sera gazı emisyonlarını azaltmak isteyen şirketlerde EYS kullanılması gerekmektedir. EYS ile tesisin enerji maliyetleri, sera gazı, karbon salınımları, çevreye etkisi ve zararı azaltılmış olacaktır.

EYS standardı 09.06.2011 tarihinde yayınlanarak yürürlüğe girmiştir. EYS standardı; tesiste kullanılan diğer yönetim sistemleri ile (ISO 14001:Çevre Yönetim Sistemi, BS EN 16001Enerji Yönetim Sistemi, ISO 9001:Kalite Yönetim Sistemi...) entegre olacak şekilde hazırlanmıştır. EYS amacı; tesis içindeki enerji performansını geliştirmektir. Bunun için gerekli adımları, sistemlerin kurulmasını sağlayarak tesisin enerji verimliliğini, kullanımını, yoğunluğunu ve tüketimini sürekli kontrol altında tutar.

EYS ile tesisin enerji tüketimi konusundaki gelişim performansı (enerji tüketen ekipmanlar/üniteler kontrol altında tutularak) sürekli olarak izlenerek şirket içindeki enerji verimliliği, enerji tüketim bilinci artar. Enerji Yönetim Sistemi ile tesisin uymakla yükümlü olduğu yasal mevzuatlar dikkate alınarak ISO 50001 EYS standardı çerçevesinde bir enerji politikası geliştirilir, ilgili aksiyon planları, adımları oluşturulur ve uygulanır (sürekli performansı izlenerek). Bu süreç yaklaşık olarak minimum 4-6 ay olup ISO14001 Çevre Yönetim Sistemine sahip tesislerde bu süre daha kısadır.

EYS standardı kapsamında çalışılmaya başlanıldığı zaman ilk önce enerji yönetimi çalışma ekibi kurulması gerekir. Devamında üst yönetim ile görüşülerek, onların desteği alınarak bir enerji politikası tespit edilir. Oluşturulacak şirket enerji politikası; minimumda enerji performansının gelişimini sağlamak için izlemeyi, sürekli iyileştirilmesini hedefleyerek tesis ile ilgili yasal

mevzuatlara uygun hareket etmeyi içerir. Enerji yönetimi çalışma takımı; şirketin enerji hedeflerine, yatırım planlarına göre şirket süreçlerini değerlendirip, gözden geçirip, ilgili talimatların hazırlanması çalışmalarını yapacaktır. Bu kapsamda; tesisin enerji tüketiminin detaylı ele alınarak, detaylı bir şekilde irdelenir. Enerji tüketimlerini azaltmak için aksiyon planlarının, enerji performans göstergelerinin, enerji hedeflerinin oluşturulmasını, enerji süreçlerinin, enerji performanslarının sürekli geliştirmelerini, tesisteki enerji kullanım miktarını, işletme maliyetlerini düşürmeyi hedefleyerek tesisin enerji tüketimini hesaplarken, enerji faktörlerinin de (dış ortam sıcaklığı gibi) hesaba katılmasını sağlar.

EYS sistemi kurulduktan sonra ise; şirketin enerji performansı izlenmelidir. Tesisteki enerji tüketim miktarı, enerji yoğunluğu, ekipmanların enerji kullanım miktarı, enerji verimliliği, performansı, sera gazı, karbon salınımları ile ilgili kriterlerin ölçülebilir, denetlenebilir, kontrol altında tutulabilir olduğu sürece şirket enerji hedeflerine ulaşabilecektir. Bu şekilde iyileştirme faaliyetleri amacına ulaşabilecektir. Tüm bu iyileştirmelerin sonucu olarak endüstriyel tesisin enerji verimliliğinin artırılması, enerji verimliliğinin geliştirmesi ve sera gazı emisyonlarının azaltılması sağlanarak, enerji güvenliği artacaktır. EYS; tesisin sera gazı ile enerji maliyetlerinin düşürülmesi için yol göstermektedir, bu şekilde düşük karbon salınımı sağlanarak, sera gazı salınımının düşürülmesi ile tesisin küresel ısınmaya ve çevre kirliliğine etkisi azaltılmış olacaktır. Bu şekilde tesisin çevre ile ilgili yükümlülüklerini yerine getirmesini sağlanarak tesisin “çevre dostu” bir tesis olması sağlanacaktır.

Enerji Yönetim Sisteminde; tesiste enerji verimliliğinin sürekli iyileştirilmesi beklenmektedir. Bu kapsamda tesisin enerji analizinin yapılmasını, enerji tüketim noktalarının tespit edilmesini, tasarruf edilebilecek yerlerde iyileştirmelerin yapılmasını, enerji verimliliğinin artırılmasını ve tesisin çalıştığı süre boyunca sürekli olarak kontrollerin ve iyileştirmelerin devam etmesi zorunludur. Bu doğrultuda “Planla-Uygula-Kontrol Et-Önlem Al (PUKÖ) döngüsünü” uygulamamız, tesis verimliliğini artırmamız ve yenilenebilir enerji kaynakları kullanımının artırılması beklenmektedir.

2.2 ISO 50001 EYS kapsamında Enerji Etüdü

ISO 50001 Enerji yönetim sistemi standardı gereği EYS formlarının aşağıda belirtilen hususları içermesi gerekmektedir:

- Tesisin uymakla yükümlü olduğu mevzuat çerçevesinde yasal zorunluluklar,
- Enerji gözden geçirme talimatı,
- Enerji referans çizgisi,
- Enerji tüketim trendleri,
- Enerji yoğunluğu indeksi,
- Enerji performans göstergeleri,
- Önemli Enerji Kullanımları,
- Amaç, hedefler ve aksiyon planları,
- Gözden geçirmeler

Sanayii sektöründe yukarıda belirtilen hususlar ilgili prosedürler ile izlenmelidir. ISO 50001 Enerji Yönetim Sistemi enerji etüdü kapsamında ilgili sanayii sektöründe oluşturulan prosedürler aşağıda sunulmuştur:

- Doküman Kontrol Prosedürü
- DÖF Prosedürü
- Enerji Etüdü Prosedürü
- Enerji Gözden Geçirme Prosedürü
- Enerji Planlama Prosedürü
- Enerji Referans Çizgisi Oluşturma Talimatı
- Enerji Yönetim Takımı Çalışma Talimatı
- Kalibrasyon ve Doğrulama Prosedürü
- Operasyonel Kontrol Prosedürü
- Satın Alma Prosedürü
- Öneri Prosedürü
- İzleme, Ölçme ve Analiz Prosedürü
- İç Tetkik/Denetim Prosedürü
- İç ve Dış İletişim Prosedürü

ISO 50001 Enerji Yönetim Sisteminde endüstriyel tesislerde enerji etüdü kapsamında doldurulması, takip edilmesi gereken ilgili formlar aşağıda sunulmuştur:

- Bakım Planı Formu
- DÖF Talep Formu
- Enerji Yönetim Sistemi Doküman Master Formu
- Enerji Amaç, Hedef, Aksiyon Planları Formu
- Enerji Performans Göstergeleri Formu
- Enerji Referans Çizgisi Formu
- Enerji Tüketim Formları
- Enerji Tüketim Trendleri Formu

- Enerji Verimliliği Tasarım Projeleri Formu
- EYS Öneri Formu
- Eğitim Planı Formu
- Faaliyet Raporu
- Kalibrasyon ve Doğrulama Planı Formu
- Kritik Operasyon Parametreleri Formu
- Satın Alma ve Tedarikçi Formu
- Teknik Etüt Formu
- Uygunsuzluk DÖF Takip Formu
- Yasal ve Diğer Gereklilikler Formu
- ÖEK Formu
- Öneri Takip ve Değerlendirme Formu
- İletişim ve Farkındalık Planı
- İzleme ve Ölçme Formu
- İç Tetkik/Denetim Plan ve Denetçi Listesi Formu
- İç Tetkik/Denetim Rapor Formu
- İç Tetkik/Denetim Soru Listesi Formu
- İşletme kriterleri Formu

ISO 50001 Enerji Yönetim Sisteminde enerji etüdü kapsamında ilk adımlardan biri tesisin enerji yöneticisini belirlemek diğeri ise tesisteki Önemli Enerji Kullanımları (ÖEK) tanımlanmasıdır. ÖEK olarak; tesiste her bir enerji türü için toplam enerji tüketiminin en az %8'ini tüketen ekipmanlar (ÖEK'ler için enerji tüketim miktarı toplam tüketime bölünür ve %8'den fazla olanlar) seçilir. Her Birim'deki ÖEK'lerin toplamı ilgili enerji türündeki tüketimin en az %80'i olmalıdır. Aynı zamanda ilgili ÖEK'lere ait Enerji Referans Çizgileri oluşturulur. Bu çizgiler, Enerji Yöneticileri tarafından Enerji Referans Çizgisi Oluşturma Talimatına göre oluşturulur ve gerekli koşullarda güncellenerek Enerji Referans Çizgisi Formları'nda kayıt altında tutulur. Seçilen ÖEK'lerde herhangi bir değişiklik olmadığı durumda, ilgili ÖEK'e ait mevcut durumdaki veriler Enerji Referans Çizgisi ile önceki dönemler ile kıyaslanır ve enerji performansındaki değişiklikler tespit edilerek her Yıllık Gözden Geçirme toplantısında değerlendirilir. ÖEK'lere ait Enerji Performans Göstergeleri (EPG), EPG Formu ile takip edilir. Enerji Performans göstergelerini belirlemek ve güncel tutmak; Enerji Yöneticisinin sorumluluğundadır. Enerji Performans Göstergeleri, üniteye ait performans değişkeni ve bu performans değişkeni için gerekli olan enerji tüketimlerinin değerlendirilebileceği, nicel bir değer olarak belirlenir. Enerji gözden geçirme talimatı ile tesisin ölçüm verileri ile enerji kullanım miktarları, ÖEK'ler değerlendirilir, iyileştirilmesi gereken üniteler ve ekipmanlar saptanır.

Ayrıca endüstriyel tesislerde enerji etüdü kapsamında çalışanlar, denetçiler ve uzmanlar tarafından yapılan EYS önerileri; EYS Amaç, Hedef ve

Aksiyon Planı formuna işlenir, yapılacak iş ve işlemler hakkında Enerji Yöneticisi tarafından gerekli süreçler mevzuat çerçevesinde yürütülür ve takip edilir. Bu formu hazırlamak ve güncel tutmak Enerji Yöneticisinin sorumluluğundadır. Enerji Yöneticisi tarafından, bir önceki yıla ait veriler müteakip yılın Ocak Ayı sonunda Yönetim Gözden Geçirme (YGG) toplantısında görüşülmek üzere Yönetim Temsilcisine sunulur. Amaç Hedef Aksiyon Planı formunda EYS önerisi hakkında; amaç, hedef, proje konusu, aksiyon, enerji türü, yatırım sınıfı, tasarruf miktarı (kWh/yıl), tasarruf (TL/yıl), CO2 (ton/yıl), tahmini tasarruf (yıllık) ve gerçekleşen tasarruf (yıllık), yatırım miktarı (TL), geri ödeme süresi (yıl), sorumlu kişi, hedef tamamlanma tarihi, ilerleme durumu, ilgili notlar, engeller, riskler, tasarruf miktarı tahmin methodu, proje tamamlanma tarihi, aksiyonlar için referans yıl tüketimi (kWh/yıl), aksiyon tasarruf oranı (%), hedefler için referans yıl tüketimi (kWh/yıl), hedef tasarruf oranı (%), amaçlar için referans yıl tüketimi (kWh/yıl), amaç tasarruf oranı (%) yer almaktadır.

Ayrıca ÖEK'lar, Enerji Performans Gösterge formu ile düzenli olarak takip edilir. Enerji performans göstergeleri; enerji yoğunluğu, enerji verimliliği, enerji kullanım ile tüketim miktarları v.b. verilerini içerir. ÖEK formu ile önemli enerji kullanıcısının (ÖEK) elektrik ve ısı enerjisi; tüketim-kWh/yıl, toplam tüketim içerisindeki % payı, hedef tüketim-kWh takip edilir. Tüm ÖEK'lerin enerji tüketim analizleri için Önemli Enerji Kullanım Formu kullanılır. Önemli Enerji Kullanım Formunu Enerji Yönetim Takımı gözden geçirir ve tesis Enerji Yöneticisine sunulur. İşletme Kriterleri formu ile önemli enerji kullanıcısının kontrol, metot, beklenti, düzeltici aksiyonu tespit edilir. ÖEK'lar, Enerji Referans Çizgisi formu ile enerji performans değişkeni, enerji tüketimi, beklenen tüketim, Enerji Yoğunluğu İndeksi (EDI) izlenir. Tesisin enerji tüketimi; enerji tüketim formu ile (elektrik (kWh/ay ve TL/ay), doğalgaz (Sm3/ay ve TL/ay)) düzenli olarak aylık takip edilir. Ayrıca her sabah (08:00 gibi) tesisin toplam elektrik tüketim miktarları Enerji İzleme Sisteminden (EİS) alınır ve günlük tüketim tablosuna kaydedilir. Kompresör-türbin paketi gibi kompleks ünitelerde günlük tüketim tablosuna türbin yakıt sarfiyatına etki edecek tüm değerlerin (Rezervuar Ortalama Basıncı, Ortalama Hat Basıncı, Günlük Debi, Ortalama Hava Sıcaklığı, Türbin Çalışma Saati, Harcanan Yakıt Gazı, Gaz Kompozisyonundaki Metanın Yüzdeleri Değeri... gibi) günlük ortalamaları eklenir.

Enerji Tüketim Trendleri formları ile elektrik (tüketim (kWh/yıllara sâri), maliyet (yıllara sâri), ilgili

ayın Ortalama Birim Fiyatı, Hedef kWh (%),doğalgaz (Sm³/yıllara sâri), maliyet (yıllara sâri), ilgili ayın Ortalama Birim Fiyatı, Hedef sm³ (%) aylık olarak takip edilir. (yıllara sâri tüketimler girilir ve tüketim ve maliyetlere ilişkin grafikler oluşturulur.) Kritik Operasyon Parametreleri formu ile ilgili parametrelerin (set, üst limit, alt limit) değerleri, ölçüm cihazı, kalibrasyon aralığı takip edilir. Tesislerde kullanılan diğer prosedür ise; düzeltici ve önleyici faaliyetler prosedürü, iç denetim prosedürü, yönetimin gözden geçirme prosedürü ve formu, operasyon kontrol noktaları formu vb. EYS yönetim sistemi prosedürleri ile formları bulunmaktadır.

Enerji Etüt Prosedürü ile tesisteki enerji tüketim ve enerji performans değişkeni (son üç yıla ait elektrik, doğal gaz, motorin vb.) ile ilgili tüm verilerin toplanması, gerekli durumlarda basit ölçümlerin yapılması ile verimli olmayan ekipmanlar ve üniteler gibi genellikle bakım ve onarım ile ilgili sorunların düşük maliyetli ve sonuçları kısa vadede gözlemlenebilecek çözümlerle giderilmesi amaçlanır. Prosedür kapsamında tüm proseslerin, enerji kullanım miktarları, ÖEK'ler, iyileştirilmesi gereken ekipmanlar saptanmalı, gerekli hesaplar yapılmalıdır. Enerji etüdü sırasında tesisteki şu temel ekipman ve sistemler detaylı incelenir;

- Kazanlar, ısıtma ve soğutma sistemleri,
- Pompalar, kompresörler, türbinler ve fanlar,
- Elektrik ve Doğalgaz Sistemleri,
- Motorin ve Diğer Akaryakıt Tüketimleri ve ilgili Tüketim Kaynakları,
- Elektrik Panoları,
- Elektrik Motorları,
- Trafolar,

EYS enerji etüdü kapsamında; ilk olarak tesisin enerji tüketim miktarları ile ekipmana ve üniteye uygun veri periyodu belirlenerek ilgili referans değerleri belirlenir. Ekipman ve ünitelerin performansındaki her değişim, enerji baz değerine göre ölçülür. Ekipmanın enerji performansını izlemek ve ölçmek için uygun Enerji Performans İndikatörleri-EPI ve Referans Enerji Durumu-RES' ler tanımlanmalıdır. Enerji performans indikatörlerinin değişimini tespit etmek ve güncellemek için yöntemleri kayıt altına alınmalı, sapmalar tespit edilmelidir. Detayları Bölüm 2.3. verilen PUKÖ Döngüsü uygulanmalıdır. ISO 50001 Enerji Yönetim Sistemi standardına göre endüstriyel tesislerde enerji etüdü kapsamında aşağıdaki adımlar atılmalıdır:

- Endüstriyel tesisteki makineleri enerji verimliliğini ve önemli enerji kullanımları (ÖEK) dikkate alınarak; sıcaklık ve basınç ayarları kontrol edilmeli, makinelerin arada kapatılması durumu gözden geçirilmelidir.
- Tesiste satın alma yapılırken enerji verimliliği açısından değerlendirilmelidir.
- Sorumlu anahtar kişilerin belirlenmesi gerekmektedir.
- Tesisteki enerji ile ilgili anahtar özellikler (Enerji Performans İndikatörleri-EPI ve Referans Enerji Durumu-RES) izlenmeli ve ölçülmelidir.
- EYS ilk olarak konu ile ilgili anahtar personele, sonrasında şirket geneline tanıtılmalıdır.
- Tesis ile ilgili tüm çözümlerin en kısası kullanılmalıdır.
- Tesis içi enerji ile ilgili kişiler tanımlanmalı, gerekli eğitimler verilmelidir.
- Tesisin tasarımı sırasında, minimum enerji harcayan verimli ekipmanlar satın alınmalıdır.
- Tesisin EYS standardına uygun kurulması gereklidir.
- Düzenli olarak tesiste denetimlerin gerçekleştirilmesi gereklidir.
- Tesis yönetiminin düzenli olarak gözden geçirmesi gereklidir. Bu şekilde tesis içi iyileştirme çalışmaları, kaynak ihtiyaçları gözden geçirilir, sistemin etkinliğini ve sürekliliğini sağlar.
- Tesiste EYS risklerinin değerlendirilmesi her yıl "Risk Değerlendirme Ekibi" tarafından gerçekleştirilmelidir.
- Tesiste risk değerlendirme ekibinin yapacağı seçim doğrultusunda 5x5 Matris (Tehlike Büyüklüğü * Tehlike Sıklığı) veya Fine Kinney risk değerlendirme metotları kullanılmalıdır.
- İç denetimler, verilerin dokümanite edilmesi, düzeltici ve önleyici faaliyetler, verimlilik kontrolleri vb. EYS prosedürlerine uyularak ilgili formlarının doldurulması sağlanmalıdır.

Tesisin kayıtları, EYS enerji etüdü kapsamında oluşturulan tüm formlar (Enerji Tüketim Formu, Enerji Referans Çizgisi Formu, EPG Formu, Amaç, Hedef ve Aksiyon Planları Formu...) Enerji Yöneticisi tarafından 10 yıl saklanmalıdır.

2.3 Petrokimya Tesisinin Enerji Kullanım Durumu ve Risk Hesabı

Çalışma kapsamında ülkemizdeki bir petrokimya tesisinin EYS uygulaması değerlendirilmiştir. EYS kapsamında tesisin elektrik tüketen önemli ekipmanlarının (kazanlar, brülörler, ısıtma ve soğutma sistemleri, fan-coil üniteleri, pompalar,

kompresörler, türbinler, fanlar, trafolar, motorlar); enerji performansını izlemek için uygun enerji performans indikatörleri-EPI ve Referans Enerji Durumu-RES ler tanımlanmış, ekipmanların enerji verimliliğini ve önemli enerji kullanımları (ÖEK) hesaplanmıştır. Ayrıca yüksek enerji tüketen ekipmanların performansındaki her değişimin izlenmesi, yönetilmesi ve iyileştirilmesi amacıyla; tesisin enerji tüketim miktarlarına uygun bir veri periyodu belirlenerek ekipmanların enerji referans değerleri belirlenmiştir. Bu kapsamda tesisin toplam elektrik tüketim miktarları Enerji İzleme Sisteminden (EİS) alınarak kontrol edilmiş; tesisin enerji hedefleri, referans yıl tüketimi (kWh/yıl), aksiyon tasarruf oranı (%), hedefler için referans yıl tüketimi (kWh/yıl), hedef tasarruf oranı (%), amaçlar için referans yıl tüketimi (kWh/yıl), amaç tasarruf oranı (%) yeniden belirlenmiştir.

Çalışma kapsamında petrokimya tesisinde kullanılan Önemli Enerji Kullanım (ÖEK) formu (Enerji Yönetim Takımı tarafından gözden geçirilmeden önce oluşturulan form) ile İşletme Kriterleri formu (önemli enerji kullanıcısının kontrol, metot, beklenti, saha uygulamaları ile kontrolü, düzeltici aksiyonu için oluşturulan form) oluşturulurken çok-kriterli-karar-verme (ÇKKV) yöntemli olan Bulanık AHP yönteminden faydalanılmıştır.

2.3.1 Bulanık Kümeler Teorisi

Teori ilk; Zadeh (Zadeh 1965) tarafından "Bulanık Kümeler" isimli makalede ele alınmıştır. Zadeh, makalesinde teorinin temel kavramları ile matematiksel özelliklerini incelemiştir. Zadeh tarafından bulanık küme; sürekli bir üyelik fonksiyonuyla (0 - 1 arasında değişen) tanımlanmıştır (Incekara 2019). Yöntemde bir problemin karmaşık olmayan çözümü doğrultusunda yaklaşık olarak modellemesinin yapılması hedeflenmektedir. Bulanık Kümeler teorisinde; karar vericilerden (KV) dilsel değişkenler ile problemin çözümüne katkı sağlaması hedeflenmiştir (Incekara 2020). AHP yöntemi ikili karşılaştırmalar yöntemi olarak kabul edilmekte olup; yöntemde karşılaştırmalar Uzmanlar/Karar Vericiler (KV) yardımıyla uzmanların tecrübelerini yansıtmakta olup karar verme aşamasında seçim

kriterlerini (kriterleri/alt kriterleri) birleştirme seçeneğini sunan bir yöntem olduğu için literatürde çok sık kullanılmaktadır (Incekara 2018). Çalışmada değerlendirmeler; petrokimya tesislerinde tecrübesi olan enerji konusunda uzman kamuda ve özel sektörde çalışan müdür, şef, başmühendis, mühendis, teknisyen, tekniker olan KV'ler tarafından (toplam 29 kişi ile görüşülmüştür) doldurulan anketler ve görüşmeler neticesinde değerlendirilerek, söz konusu formlar oluşturulmuştur.

2.3.2 Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP)

Bulanık AHP (Analytic Hierarchy Process), KV'lerin dilsel değişkenler ile problemi değerlendirmeleri ile problemin çözümüne katkı sağlamları ile AHP (Saaty 2008)'in avantajlarını bünyesinde barındıran bir yöntemdir. Bulanık yöntemin en büyük avantajı problemin çözümünde dilsel değişkenler kullanılması ile çok-kriterli-karar-verme yöntemlerinde karşılaşılan belirsizlikler giderilmektedir. İlk Zadeh ile başlayan bulanık mantık kullanımı sonrasında literatürde çok sık kullanılmış olup çok sayıda çalışma yapılmıştır. Çalışmada kullanılan Bulanık AHP yöntemi ile literatürde pek çok çalışma (Chan et al. 2007, Buckley 2003, Chang 1996, Chen et al. 1992, Chen 2001, Deng 1999, Kahraman et al. 2003, Klir 1995, Ghodsypour 1998, Leung 2000, Shukla 2014, Satrovic 2019, Junior et al. 2014, Thengane 2014, Wang 2008, İncekara 2018, Incekara 2019, Incekara 2020) yapılmıştır. Çalışmanın çözümünde üçgen bulanık sayılardan faydalanılmış olup çalışmada kullanılan dilsel ifadeler, karşılık gelen ilgili bulanık sayıları Çizelge 1'de sunulmuştur.

Çizelge 1. Çalışmada Kullanılan Dilsel ifadeler ve ilgili Bulanık Sayısı.

Dilsel Değişken	İlgili Bulanık Sayı	İlgili Ters Bulanık Sayı
Eşit Önem	[1,1,1]	[1,1,1]
Biraz Daha Önemli	[1,3,5]	[1/5,1/3,1]
Oldukça Önemli	[3,5,7]	[1/7,1/5,1/3]
Çok Önemli	[5,7,9]	[1/9,1/7,1/5]
Son Derece Önemli	[7,9,9]	[1/9,1/9,1/7]

Günlük hayatımızda karar problemleri belirsizlikler içerdiğinden, bu durum dikkate alındığında Bulanık AHP, AHP yöntemine göre daha güvenilir sonuçlar

vermektedir. Bulanık AHP bireysel kararlar yanında grup kararı vermeye uygun bir karar verme yöntemi olma özelliğini taşımaktadır. Çalışmada bulanık sayıların ağırlıklarının hesaplanması için Bulanık AHP yöntemi adımları aşağıda özetlenmiştir (İncekara 2020).

$K = \{k_1, k_2, \dots, k_p\}$ nesne seti ve $L = \{l_1, l_2, \dots, l_r\}$ amaç seti; her amaç için "r ölçüde" analiz yapılmıştır.

$$X_{hi}^1, X_{hi}^2, \dots, X_{hi}^r \quad (i=1,2,\dots,p; j=1,2,\dots,r) \quad (1)$$

Burada, tüm X_{hi}^j ($i=1,2,\dots,r$) bulanık sayılar olup i için ilgili bulanık sentetik mertebesi formül (2) ile gösterilmiştir.

$$S_i = \sum_{j=1}^r X_{hi}^j \otimes \left[\sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^r X_{hi}^j \right]^{-1} \quad (2)$$

$X_1 \geq X_2$ 'nin olabilirlik derecesi formül (3) ile gösterilmiştir.

$$B(X_1 \geq X_2) = \sup_{k \geq t} [\min(\mu_{X_1}(k), \mu_{X_2}(t))] \quad (3)$$

$h \geq t$ ve $\mu_{X_1}(k) = \mu_{X_2}(t)$ durumunu sağlayan (k, t) gibi bir çift varsa; $B(X_1 \geq X_2) = 1$ 'dir. X_1 ve X_2 ; konveks bulanık sayılardır;

$$X_1 \geq X_2 ; B(X_1 \geq X_2) = \mu_{X_1}(e) \quad (4)$$

Burada e, μ_{X_1} ve μ_{X_2} arasında en yüksek kesişim noktası E'nin ordinatıdır.

$X_1 = (a_1, b_1, c_1)$ ve $X_2 = (a_2, b_2, c_2)$ olduğunda; E'nin ordinatı Denklem (5) ile hesaplanır.

$$B(X_2 \geq X_1) = \frac{a_1 - c_2}{(b_2 - c_2) - (b_1 - a_1)} \quad (5)$$

X_1 ve X_2 'nin karşılaştırılmasının yapılabilmesi için $B(X_1 \geq X_2)$ ve $B(X_2 \geq X_1)$ değerlerine ihtiyaç vardır.

$$B(X \geq X_1, X_2, \dots, X_f) = B[(X \geq X_1)] \text{ ve } [(X \geq X_2)] \\ \text{ve...ve } [(X \geq X_f)] \\ = \min B(X \geq X_i), \quad (i=1,2,3,\dots,f) \quad (6)$$

$d'(A_i) = \min B(S_i \geq S_j)$ ve $k = 1,2,3,\dots,v$; $f \neq i$ ağırlık vektörü Denklem (7) ile gösterilmiştir.

$$W' = (d'(Z_1), d'(Z_2), \dots, d'(Z_f))^T \quad (7)$$

"W" bulanık olmayan bir sayı olup; normalize ağırlık vektörü Denklem (8) ile gösterilmiştir:

$$W = (d(Z_1), d(Z_2), \dots, d(Z_f))^T \quad (i=1,2,\dots,f) \quad (8)$$

2.3.3. Bulanık TOPSIS Yöntemi

TOPSIS (The Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution) yönteminde; ideal çözümden (pozitif ve negatif) kararların (noktaların) uzaklıkları hesaplanarak sıralaması yapılır. Chen (2000) Bulanık TOPSIS yöntemini seçim probleminin çözümü için kullanmıştır. Bulanık TOPSIS nicel ve nitel çok kriterli karar problemlerinde alternatiflerin seçim sıralama ve değerlendirilmesinde yararlanılan bir karar verme yöntemidir. Bulanık nitelikteki durum ve olaylarda TOPSIS yönteminin kullanılması halinde insan yargı ve düşüncelerini çözüme yansıtma mümkün olmamaktadır. Bulanık TOPSIS; karar problemlerinde bulanık ortamlarda karar verilebilmesine imkân vermektedir. Bulanık TOPSIS ve Bulanık VİKOR yöntemlerinde alternatiflerin sıralaması yapılırken Q ve yakınlık katsayısı (CC_i) indeksinin değerlerine bakılır. VİKOR yönteminde Q_i indeksinin "0" değerine yakın olması, TOPSIS yönteminde ise CC_i'nin "1" değerine yakın olması istenir. Yöntemin uygulanması sırasında karar vericiler, karar kriterleri ve alternatiflerle ilgili değerlendirmelerini dilsel olarak ifade ederler. Karar vericilerin kriterler ve alternatiflerle ilgili değerlendirmeleri bulanık sayılara dönüştürülerek alternatifler için yakınlık derecesi hesaplanır. Hesaplanan yakınlık katsayıları yardımıyla alternatifler sıralanarak çözüm ortaya konur. Çalışmada kullanılan alternatiflerin değerlendirilmesinde kullanılan dilsel ifadeler ile karşılık gelen ilgili bulanık sayıları Çizelge 2'de sunulmuştur (İncekara 2020).

Çizelge 2. Değerlendirilmede Kullanılan Sözel Değişkenler ve ilgili Bulanık Sayısı.

Dilsel Değişken	İlgili Bulanık Sayı
Çok Kötü	[0,0,1]
Kötü	[0,1,3]
Biraz Kötü	[1,3,5]
Orta	[3,5,7]
Biraz İyi	[5,7,9]
İyi	[7,9,10]
Çok İyi	[9,10,10]

Çalışmada bulanık sayıların ağırlıklarını hesaplanmak için Bulanık TOPSIS yöntemi adımları aşağıda özetlenmiştir (İncekara 2020).

w_j^K için j nci karar kriterlerinin önem ağırlığı formül (9) ile gösterilmiştir.

$$\tilde{w}_{ij} = \frac{1}{K} [\tilde{w}_{ij}^1 \oplus \tilde{w}_{ij}^2 \oplus \tilde{w}_{ij}^K] \quad (9)$$

X_{ij}^K nın i nci önem ağırlığı formül (10) ile gösterilmiştir:

$$\tilde{X}_{ij} = \frac{1}{K} [\tilde{X}_{ij}^1 \oplus \tilde{X}_{ij}^2 \oplus \tilde{X}_{ij}^K] \quad (10)$$

Çok kriterli bir karar verme problemi formül (11) ile gösterilmiştir:

$$\tilde{D} = \begin{bmatrix} \tilde{x}_{11} & \dots & \tilde{x}_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{x}_{m1} & \dots & \tilde{x}_{mn} \end{bmatrix}, \tilde{W} = [\tilde{w}_1, \tilde{w}_2 \dots \tilde{w}_n] \quad (11)$$

Burada \tilde{x}_{ij} ve \tilde{w}_j dilsel değişkenlerdir. $A_1, A_2, A_3, \dots, A_m$, alternatifler, $C_1, C_2, C_3, \dots, C_n$ karar kriterleri gösterir. Burada \tilde{W} bulanık matrisi ifade etmektedir, bulanık sayılar ise $\tilde{x}_{ij} = (a_{ij}, b_{ij}, c_{ij})$ ve $\tilde{w}_j = (w_{j1}, w_{j2}, w_{j3})$ dir. Bulanık karar matrisi oluşturulur, sonrasında formül (12) ile gösteren normalize edilmiş karar matrisi (bulanık) elde edilir:

$$\tilde{N} = [\tilde{n}_{ij}]_{p \times r} \quad i=1,2, \dots, p \quad j=1,2, \dots, r \quad (12)$$

Normalize edilmiş karar matrisi (bulanık) hesaplanması; formül (13 ve 14) ile gösterilmiştir.

$$\tilde{n}_{ij} = \left(\frac{a_{ij}}{c_j^+}, \frac{b_{ij}}{c_j^+}, \frac{c_{ij}}{c_j^+} \right), \quad c_j^+ = \max c_{ij} \quad (13)$$

$$\tilde{n}_{ij} = \left(\frac{a_j^-}{c_{ij}^-}, \frac{a_j^-}{b_{ij}^-}, \frac{a_j^-}{a_{ij}^-} \right), \quad a_j^- = \min a_{ij} \quad (14)$$

Formülden de görüleceği gibi normalize edilmiş karar matrisinde (bulanık); bulanık sayı değerleri [0,1] aralığındadır. Kriterlerin önem ağırlığı ile $\tilde{V} = [\tilde{v}_{ij}]_{m \times n}$ şeklinde gösterilen (weighted) ağırlıklandırılarak normalize edilmiş karar matrisi hesaplanır (formül (8) ile).

$$\tilde{v}_{ij} = \tilde{n}_{ij} \cdot \tilde{w}_j \quad (15)$$

\tilde{V} matrisi hesabı; formül (16) ile gösterilmiştir.

$$\tilde{V} = \begin{bmatrix} \tilde{w}_1 \tilde{n}_{11} & \dots & \tilde{w}_r \tilde{n}_{1r} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{w}_1 \tilde{n}_{p1} & \dots & \tilde{w}_r \tilde{n}_{pr} \end{bmatrix} \quad (16)$$

\tilde{V} matrisinin hesabından sonra pozitif ideal çözüm (bulanık) A^+ ile negatif ideal çözüm (bulanık) A^- hesaplanır:

$$A^+ = \{v_1^+, v_2^+, \dots, v_r^+\}$$

$$A^- = \{v_1^-, v_2^-, \dots, v_r^-\},$$

$$\tilde{v}_j^* = \max_i \{v_{ij3}\} \text{ ve } \tilde{v}_j^- = \min_i \{v_{ij1}\} \quad (17)$$

$i=1,2,3, \dots, p$ ve $j=1,2,3, \dots, r$

ile hesaplanır. Formül (17) ile hesaplanan A^+ ve A^- dan sonra d uzaklıkların formül (18 ve 19) ile hesabı yapılır.

$$d_i^+ = \sum_{j=1}^n d(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^+); i=1,2, \dots, p \quad (18)$$

$$d_i^- = \sum_{j=1}^n d(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^-); i=1,2, \dots, p \quad (19)$$

Vertex metodu kullanılarak ideal çözüme yakınlıkları hesaplanır. İki üçgen bulanık sayı olan $\tilde{A}=(a_1, a_2, a_3)$ ve $\tilde{B}=(b_1, b_2, b_3)$ arasındaki uzaklık(d) hesaplanması; formül (20) ile gösterilmiştir.

$$d_v(\tilde{a}, \tilde{b}) = \sqrt{\frac{1}{3}[(a_1 - b_1)^2 + (a_2 - b_2)^2 + (a_3 - b_3)^2]} \quad (20)$$

Alternatifler arasında karşılaştırma yapılabilmesi için yakınlık katsayıları(CC) hesaplanması; formül (21) ile gösterilmiştir (Chen et al. 2006).

$$CC_i = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-} \quad (21)$$

Alternatifler için yakınlık katsayısı CC_i değerlerine göre sıralanarak karar verilir.

2.3.4. Bulanık VIKOR Yöntemi

Vikor yöntemi, Opricovic (1998) tarafından çok ölçütlü kompleks sistemlerin optimizasyonu için geliştirilen Çok Kriterli Karar Verme yöntemlerinden biridir. Yöntemin amacı; alternatiflerin sıralanması ve seçimi aşamasında, maksimum grup faydası (çoğunluk kuralı ile) ve minimum bireysel pişmanlığı

sağlayarak uzlaştırmacı çözüme ulaşmaktır. VIKOR Yöntemi; alternatifler arasından yapılan seçim sürecinde nihai karar üzerinde birden fazla kriterin dikkate alınması zorunluluğunun olduğu haller için önerilmektedir (Opricovic ve Tzeng 2004). Bulanık küme teorisinin VIKOR yöntemine uygulanma sonucu oluşan bulanık VIKOR yöntemi, bulanık çevrede nihai karar üzerinde belirleyici olan ve birbirleriyle çatışan farklı kriterlerin olması durumunda kullanılması uygun olan bir yöntemdir. Söz konusu bu yöntem; bulanık bir ortamda, kriter ve ağırlıklarının her ikisini de bulanıklaştırmaktadır (Opricovic 2011). Opricovic ve Teng (2004) tarafından kullanılan çalışmada kullanılan formüller aşağıda sunulmuştur. Çok Kriterli Karar Verme problemlerinde bulanık VIKOR yönetimi kullanıldığında; problemin çözümünde aşağıda adımlar takip edilir:

Adım 1: “n” sayıda uzman kişiden oluşan bir karar verici grubu oluşturulur.

Adım 2: “k” adet değerlendirme kriteri ve “m” adet alternatif belirlenir.

Adım 3: Bu adımda kriterlerin ve alternatiflerin değerlendirilmesi için uygun dilsel değişkenler belirlenir. Kriter ağırlıklarının ve alternatiflerin önem derecelerinin belirlenmesi için kullanılan dilsel değişkenler ve bunlara karşılık gelen bulanık sayılar Çizelge 3’de gösterilmiştir.

Çizelge 3. Değerlendirilmede Kullanılan Dilsel Değişkenler ve Bulanık Sayı Değerleri.

Kriter Ağırlıkları için Dilsel Değişkenler		Alternatiflerin Derecelendirilmesi için Dilsel Değişkenler	
Dilsel Değişkenler	Bulanık Sayılar	Dilsel Değişkenler	Bulanık Sayılar
Çok Düşük (ÇD)	(0.00, 0.00, 0.10)	Çok Kötü (ÇK)	(0.00, 0.00, 1.00)
Düşük (D)	(0.00, 0.10, 0.30)	Kötü (K)	(0.00, 1.00, 3.00)
Orta Düşük (OD)	(0.10, 0.30, 0.50)	Orta Kötü (OK)	(1.00, 3.00, 5.00)
Orta (O)	(0.30, 0.50, 0.70)	Orta (O)	(3.00, 5.00, 7.00)
Orta Yüksek (OY)	(0.50, 0.70, 0.90)	Orta İyi (Oİ)	(5.00, 7.00, 9.00)
Yüksek (Y)	(0.70, 0.90, 1.00)	İyi (İ)	(7.00, 9.00, 10.00)
Çok Yüksek (Y) ((0.90, 1.00, 1.00)	Çok İyi (Çİ)	(9.00, 10.00, 10.00)

Adım 4: Her bir kriterin ve alternatifin bulanık ağırlıkları formül (22) ve (23) ile eşitlikler yardımıyla hesaplanır. Eşitliklerdeki “n” gruptaki karar verici sayısını ifade etmektedir.

$$\tilde{w}_j = \frac{1}{n} [\sum_{y=1}^n \tilde{w}_j^y], j = 1, 2, \dots, k \quad (22)$$

$$\tilde{x}_{ij} = \frac{1}{n} [\sum_{y=1}^n \tilde{x}_{ij}^y], i = 1, 2, \dots, m \quad (23)$$

\tilde{x}_{ij} , “j” kriterine göre; “i” alternatifinin derecesi ve \tilde{w}_j ise; “j” kriterinin önem ağırlığıdır.

Adım 5: Formül (24) ve (25) yardımıyla problemin bulanık karar matrisi oluşturulur.

$$\tilde{D} = \begin{bmatrix} \tilde{x}_{11} & \dots & \tilde{x}_{1j} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{x}_{i1} & \dots & \tilde{x}_{ij} \end{bmatrix}, i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n \quad (24)$$

$$\tilde{W} = [\tilde{w}_1, \tilde{w}_2 \dots \tilde{w}_n] \quad (25)$$

Burada \tilde{x}_{ij} , j. kriterine göre i. alternatifin derecesi ve \tilde{w}_n ise n.kriterin önem ağırlığıdır.

\tilde{D} ise bulanık karar matrisini ifade etmektedir.

Adım 6: Tüm kriter fonksiyonlarının, bulanık en iyi ve en kötü değerleri belirlenir (i=1,2,...,n). Formül (26) ile eşitliğin en iyi, formül (27) ile eşitliğin en kötü değerlerin hesaplanması için kullanılmaktadır.

$$\tilde{f}_i^* = \max_j x_{ij} \quad (26)$$

$$\tilde{f}_i^- = \min_j x_{ij} \quad (27)$$

Adım 7: \tilde{S}_j ; Formül (28) ile ve \tilde{R}_j ; formül (29) ile j=1, 2, ..., n için hesaplanır.

$$\tilde{S}_j = \sum_{i=1}^m [\tilde{w}_i (\tilde{f}_i^* - x_{ij}) / (\tilde{f}_i^* - \tilde{f}_i^-)], \quad (28)$$

$$\tilde{R}_j = \max_i [\tilde{w}_i (\tilde{f}_i^* - x_{ij}) / (\tilde{f}_i^* - \tilde{f}_i^-)] \quad (29)$$

Burada \tilde{w}_i kriterlerin ağırlığını ve önemini ifade ederken, \tilde{S}_j , “i” alternatifinin bütün kriterlere en iyi bulanık değerlere uzaklığının toplamını, \tilde{R}_j değeri ise

“j.” kriterine göre “i” alternatifinin, bulanık en kötü değerlere maksimum uzaklığıdır.

Adım 8: Maksimum grup faydasını ifade eden $\tilde{S}_j, \tilde{S}_j^*$: Formül (30) ile, \tilde{R}_j, \tilde{R}^* : Formül (31) ile ve \tilde{Q}_i : Formül (32) ile; ilgili değerleri hesaplanır.

$$\tilde{S}^* = \min_i \tilde{S}_i, \tilde{S}^- = \max_i \tilde{S}_i \quad (30)$$

$$\tilde{R}^* = \min_i \tilde{R}_i, \tilde{R}^- = \max_i \tilde{R}_i \quad (31)$$

$$\tilde{Q}_i = v \frac{\tilde{S}_i - \tilde{S}^*}{(\tilde{S}^- - \tilde{S}^*)} + (1 - v)(\tilde{R}_i - \tilde{R}^*) / (\tilde{R}^- - \tilde{R}^*) \quad (32)$$

\tilde{S}^* ; uzlaştırıcı çoğunluk kuralını ve \tilde{R}^* ise farklı görüştekilerin minimum bireysel pişmanlığını ifade etmektedir. Bu hesaplamalardan sonra \tilde{Q}_i indeksi elde edilir; bu indeks grup faydası ile bireysel pişmanlığın birlikte değerlendirilmesi ile hesaplanır. “v” değeri ise, kriterlerin çoğunluğunu veya maksimum grup faydasını (v = 0.5) sağlayan stratejinin önemine dikkat çekerken, “1-v” bireysel pişmanlık değerine karşılık gelmektedir (Opricovic 2011).

Adım 9: Üçgensel bulanık sayılar durulaştırılır ve alternatifler “ \tilde{Q}_i ” indeksine göre sıralanır. Bu indeksin, en küçük değeri en iyi alternatifi gösterir. Bu çalışmada, Hsieh (2004) tarafından önerilen formül (33) eşitliğinde verilen BNP (Best Nonfuzzy Performance Value) durulaştırma yöntemi kullanılmıştır.

$$BNP_i = [(u_i - 1) + (m_i - l_i)] / 3 + l_i \quad (33)$$

Adım 10: Uzlaştırıcı çözümü belirlemek için aşağıda belirtilen iki koşulun uygunluğu kontrol edilir.

1.Koşul: Kabul edilebilir avantaj

$$Q(a'') - Q(a') \geq DQ \quad (34)$$

$DQ = 1 / (m-1)$ (eğer $m \leq 5$ ise $DQ=0.25$); m alternatif sayısını ifade eder.

2.Koşul: Karar vermede kabul edilebilir istikrar Alternatif a', S ve/veya R değerlerine göre yapılan sıralamada en iyi alternatif olmalıdır.

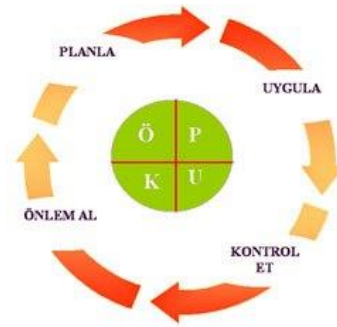
Eğer 1. koşul sağlanmaz ve $Q(a^{(m)}) - Q(a') \leq DQ$ olursa, $a^{(m)}$ ve a' aynı uzlaştırıcı çözüm olur.

Eğer 2. koşul kabul edilmez ve her ne kadar (a') 'nın nispi bir avantajı olsa da, karar vermede tutarsızlık vardır. Bundan dolayı (a') ve (a'') nin uzlaştırıcı çözümleri aynıdır.

Adım 11: “Q” değeri minimum olan en iyi alternatifi seçilir.

2.3.5. PUKÖ Döngüsü

EYS standardı; “Planlanması-Uygulanması-Kontrol Edilmesi-Önlemin Alınması(PUKÖ)” yönetim metodolojisini temel almaktadır. PUKÖ; William Edwards Deming (1982) tarafından geliştirilmiş olup toplam kalite yönetimi kapsamında pek çok çalışması mevcuttur. Deming; kalite kültürünün bir şirket kültürü olması gerektiğini belirtmiştir (Imai 2004). Deming tarafından geliştirilen PUKÖ döngüsü ile; tesis hedeflerinin ne ölçüde ulaşıldığı tespit edilir. ISO 50001 Enerji Yönetim Sistemi ile tesis içindeki ÖEK’ler için yapılan uygulamalarda; yukarıdaki paragrafta detaylı anlatılan Toplam Kalite Yönetimi’nin temellerinden Şekil-1’de gösterilen PUKÖ döngüsü uygulanır.



Şekil 1. PUKÖ Döngüsü

ISO 50001 EYS tesisin enerji ve çevresel performansı için sürekli iyileştirme sürecine (PUKÖ) odaklanır. Şekil 1’ de gösterilen PUKÖ döngüsü kısaca aşağıda özetlenmiştir:

- **Planla:** EYS tesis üst yönetiminin desteği altında bir enerji politikası ile hedefi oluşturularak, çalışma

ekibi kurulması sağlanır. Tesisin belirlenen enerji politikasına uygun olarak tesisteki tüketim değerleri, enerji hedefleri, amaçları, enerji referans çizgisi, EPG'ler ile aksiyon planları oluşturulur.

- **Uygula:** Tesiste enerji hedef ve süreçleri doğrultusunda oluşturulan enerji yönetim faaliyet planları uygulanır. Bu adımda tesis planlarının çalışanlar, üst yönetim, denetleyenler tarafından uygulanması sağlanır.

- **Kontrol et:** Tesiste enerji ile ilgili yapılan değişikliklerin kontrol edildiği bir adımdır. Şirket enerji politikasına ve hedeflerine uygun enerji performansını (Enerji Performans İndikatörleri-EPI ve Referans Enerji Durumu-RES) sağlayan temel karakteristikleri, süreçleri tanımlanır, ilgili kontrol noktalarının raporları oluşturulur.

- **Önlem al:** Tesisin enerji ve çevresel performansı; şirket enerji politikaları kapsamında alınması gereken düzeltici işlemler ile önlemler bu adımda tanımlanmıştır.

EYS standardı; PUKÖ metodolojisi ile tesis içi günlük uygulamaları denetlenerek, iyileştirir.

3. Bulgular

3.1 Uygulama

Çalışmada Bulanık AHP ile Bulanık TOPSIS yöntemleri kullanılarak; bir karar destek sistemi önerilmiştir. Enerji sektöründe çalışanlar(KV) ile bir anket çalışması yapılmıştır. Bu kapsamda petrokimya tesisinde kullanılan Önemli Enerji Kullanım (ÖEK) formu (Enerji Yönetim Takımı tarafından gözden geçirilmeden önce oluşturulan form) ile İşletme Kriterleri formu (önemli enerji kullanıcısının kontrol, metot, beklenti, saha uygulamaları kontrolü, düzeltici aksiyonu için oluşturulan form) oluşturulurken çok-kriterli-karar-verme (ÇKKV) yönteminden faydalanılmıştır; konu Bulanık AHP ve Bulanık TOPSIS kullanılarak araştırılmış, değerlendirilmiştir. Çalışmada; karar vermede etkili olan kriterlerin önem ağırlıkları Bulanık AHP ile belirlenmiş, alternatiflerin sıralaması ise Bulanık TOPSIS yöntemi ile yapılmıştır. Çalışmada enerji sektöründe yönetici olan 28 kişi ile görüşülerek çalışmanın kriter/alt kriterleri (7 ana/32 alt kriterler) belirlenmiştir. Görüşülen kişilerin dağılımı şu şekildedir: özel sektörde çalışan enerji şirketi yöneticilerinin sayısı 15 (7' i 15 yıl ve üzeri, 4'

ü 10-15 yıl, 4' ü 8-10 yıl tecrübeli) dir, ETKB enerji şirketlerinde çalışan yöneticilerinin sayısı ise 13 (5' i 15 yıl ve üzeri, 5' i 10-15 yıl, 3' ü 8-10 yıl tecrübeli) dir. Çalışma kapsamında oluşturulan 7 ana kriterler ve 32 alt kriterleri değerlendirmek için enerjide uzman 65 kişiye yönelik bir anket çalışması (dilsel ifadelerin yer aldığı bir anket çalışması) yapılmıştır. Bulanık AHP (sözel karşılaştırma matrisi oluşturulmuş, değerlerin ortalaması alınmış, bulanık üçgen sayıların geometrik ortalaması bulunmuş, bulanık ağırlık değerleri hesaplanmış, durulaştırılmış, son aşamada normalize edilmiştir) ve Bulanık TOPSIS yöntemleri (kriterler KV'ler vasıtasıyla öncelikleri değerlendirilmiş bulanık sayılara dönüştürülmüş, yakınlık katsayısı hesaplanmış, hesaplanan yakınlık katsayıları yardımıyla alternatifler sıralanarak çözüm hesaplanmıştır) kullanılarak doldurulan anketler ve görüşmeler neticesinde değerlendirilerek, tesisin EYS kontrol formları maddeleri oluşturulmuştur. Çalışmada Bulanık TOPSIS yöntemi kullanılarak, en uygun seçim kararının alınması hedeflenmiştir.

Çalışma kapsamında ilk olarak tespit edilen kriterler Bulanık AHP yöntemi ile ağırlıklandırılmış, sonrasında Bulanık TOPSIS yöntemi ile çözümün alternatif çözümleri ideal çözüme yakınlık değerleri hesaplanarak, çözümlerin öncelik ilişkisi değerlendirilmiştir. Söz konusu alternatifler için ideal çözüm tablosu oluşturulmuş Bulanık TOPSIS yöntemi kullanarak alternatifler sıralanmış ve tesise en uygun EYS kontrol formları, maddeleri (önem sırasına göre) oluşturulmuştur.

Çalışmada uzman KV'lerin değerlendirmeleri sonucunda incelenen Petrokimya tesisinde EYS kapsamında etkili olduğu tespit edilen kriterler (C) ve alt kriterler (CA) Çizelge 4.'te sunulmuştur.

Çizelge 4. Petrokimya tesisi EYS Seçim Kriterleri

Petrokimya Tesisinin EYS Kriterleri ve ilgili Alt Kriterleri

C1.Enerji maliyetleri

C1.1.Yatırım maliyeti (CA1)

C1.2.Ham madde maliyeti (CA2)

C1.3.İşletme maliyetleri (CA3)

C1.4.Enerji verimliliği (CA4)

C1.5.Tesisin çalıştığı süre (CA5)

C2.Enerji durumu

C2.1.Enerji kullanım oranı (CA6)

C2.2.Enerji tasarruf oranı (CA7)

C2.3.Enerji iyileştirmeleri (CA8)

C2.4.Enerji tasarruf planlaması (CA9)

C3.Karlılık

C3.1.Yerli ham madde maliyeti (CA10)

C3.1.Başa-baş noktası (CA11)

C3.1.Üretim maliyeti (CA12)

C3.1.Dışsal maliyetler (CA13)

C4.Performans
C4.1.Enerji Yoğunluğu İndeksi (EDI) oranı (CA14)
C4.2.Enerji Tüketim Trendleri (CA15)
C4.3.Enerji Performans İndikatörleri-EPI (CA16)
C4.3.Referans Enerji Durumu-RES (CA17)
C4.4.Önemli Enerji Kullanımı (ÖEK) etkisi (CA18)
C4.5.Enerji referans çizgisi (CA19)
C4.6.Enerji gözden geçirmeler (CA20)
C5.Teknoloji
C5.1.Kullanılan teknolojinin güvenilirliği (CA21)
C5.2.Teknolojik iyileştirmeler (CA22)
C5.3.Kapasite kullanım oranı (CA23)
C6.Bakım Personelinin Teknik Yeterlilikleri
C6.1.Teknik bilgi ve uygulama becerisi (CA24)
C6.2.Öğrenme becerisi (CA25)
C6.3.Planlama becerisi (CA26)
C6.4.Bilgilerini güncelleyerek kendini geliştirme (CA27)
C6.5.Mevzuatları/teknolojiyi yakından takip etme (CA28)
C6.6.Tecrübe (CA29)
C7.Çevresel etkiler
C7.1.Sera gazı salınımı (CA30)
C7.2.Küresel ısınmaya ve çevre kirliliğine etkisi (CA31)
C7.3.Atıklar (CA32)

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
C1	(1,1,1)	(1/7,1/5,1/3)	(1,3,5)	(3,5,7)	(1,3,5)	(1/9,1/7,1/5)	(7,9,9)
C2	(3,5,7)	(1,1,1)	(5,7,9)	(1/9,1/7,1/5)	(1,3,5)	(1/9,1/7,1/5)	(1/9,1/7,1/5)
C3	(1/5,1/3,1)	(1/9,1/7,1/5)	(1,1,1)	(1/9,1/7,1/5)	(3,5,7)	(1/9,1/7,1/5)	(1/9,1/7,1/5)
C4	(1/7,1/5,1/3)	(5,7,9)	(5,7,9)	(1,1,1)	(1/9,1/7,1/5)	(1/5,1/3,1)	(1,3,5)
C5	(1/5,1/3,1)	(1/5,1/3,1)	(1/7,1/5,1/3)	(5,7,9)	(1,1,1)	(1,3,5)	(3,5,7)
C6	(5,7,9)	(7,9,9)	(5,7,9)	(1,3,5)	(1/5,1/3,1)	(1,1,1)	(7,9,9)
C7	(1/9,1/7,1/5)	(5,7,9)	(5,7,9)	(1/5,1/3,1)	(1/7,1/5,1/3)	(1/9,1/7,1/5)	(1,1,1)

Çalışma kapsamında incelenen petrokimya tesisindeki üniteleri aşağıda belirtilmiştir:

- Etilen Üretim Ünitesi (Ü1),
- Aromatik Ürünlerin Üretim Ünitesi (Ü2),
- Klor Alkali (CA) Üretim Ünitesi (Ü3),
- Vinil Klorür Monomer (VCM) Üretimi Ünitesi (Ü4),
- Termoplastik Üretimi Ünitesi (Ü5),
- Alçak Yoğunluk Polietilen (AYPE) Üretim Ünitesi(Ü6),
- Yüksek Yoğunluk Polietilen (YYPE) Üretim Ünitesi(Ü7),
- Polipropilen (PP) Üretimi Ünitesi (Ü8),
- Ftalik Anhidrit (PA) Üretimi Ünitesi (Ü9),
- Tubular Alçak Yoğunluk Polietilen (AYPE-T) Üretimi Ünitesi (Ü10),
- Elyaf Hammadde Üretimi Ünitesi (Ü11),
- Saf Treftalik Asit (PTA) Üretimi Ünitesi (Ü12),
- Etilen Oksit Etilen Glikol(EO/EG) Üniteleri (Ü13).

İncelenen petrokimya tesisindeki söz konusu üretim üniteleri çalışma kapsamında detaylı bir şekilde incelenmiştir. Çizelge 1’de verilen bulanık ikili karşılaştırma ölçeği kullanılarak enerji sektöründe uzman olan karar vericilerin yaptığı değerlendirmelere göre ana kriter ve alt kriterlerin önem ağırlıkları Bulanık AHP yöntemine göre hesaplanmıştır. Çizelge 5’te yer alan ana amaca göre ikili karşılaştırmalar matrisindeki bulanık değerler; AHP yöntemine göre (Denklem (1)...(9) kullanılarak hesaplanmıştır.

Çizelge 5. Ana Kriterlerin Göre Bulanık İkili Karşılaştırmalar Matrisi

Bulanık ikili karşılaştırma matrisleri elde edildikten sonra Bulanık AHP yöntemi ile tüm kriterlerin önem ağırlıkları elde edilmiştir. Bulanık AHP ile elde edilen kriter ağırlıklarına göre Bulanık TOPSIS yöntemi ile KV’ lerle görüşülerek oluşturulan 7 kriter değerlendirilmiş, kriterler arasında sıralama ve seçim gerçekleştirilmiştir. Bulanık VIKOR ve Bulanık TOPSIS yöntemlerinin ilk beş aşaması, karar vericilerin oluşturulması, alternatiflerin ve değerlendirme kriterlerinin belirlenmesi, kriter ağırlıkları ve alternatifler için dilsel değişkenlerin belirlenmesi, bulanık ağırlıkların hesaplanması, bulanık karar matrisinin oluşturulması açısından aynı olmakla birlikte, altıncı aşamadan itibaren iki yöntem farklılaşmaktadır. Bulanık TOPSIS yönteminde yedinci aşamadan itibaren, normalize edilmiş bulanık karar matrislerinin elde edilmesi, ağırlıklı normalize bulanık karar matrisinin hesaplanması, her bir alternatif için bulanık pozitif ideal çözüm ve bulanık negatif ideal çözüm arası uzaklığın hesaplanması, yakınlık katsayılarının hesaplanması, en uygun yakınlık katsayısına ait alternatifin seçilmesi aşamaları takip edilmekte iken, Bulanık VIKOR yönteminde yedinci aşamadan itibaren sırasıyla; tüm kriter fonksiyonlarının en iyi ve en kötü değerlerinin belirlenmesi, bulanık en iyi ve en kötü değerlere uzaklık değerlerinin hesaplanması, diğer hesaplamaların yapılması, bulanık sayıların durulaştırılması, kabul koşullarının kontrol edilmesi ve “Q” değeri en küçük alternatifin seçilmesi aşamaları izlenmektedir. Petrokimya tesisindeki ünitelerin EYS kriterleri seçiminde etkili olan kriterlere göre KV’ lerin değerlendirilmeleri sırasında kullanılan sözel değişkenlerin bulanık değer karşılıkları Çizelge 5’ te sunulmuştur.

Kriterlerin minimum olabilirlik dereceleri belirlenerek; normalize ağırlık vektörü Denklem (8) ile hesaplanmıştır.

$$W=(0,162; 0,171; 0,097; 0,184; 0,141; 0,151; 0,094)^T$$

olarak hesaplanmıştır. Ana kriterler ve ilgili alt kriterlere ait hesaplanan önem ağırlıkları Çizelge 6' da gösterilmiştir.

Çizelge 6. Kriterlerin Önem Ağırlıkları

Kriterler ve ilgili Alt Kriterleri	Ana Kriter Önem Ağırlık	Alt Kriter Önem Ağırlık	Kriter Genel Ağırlık
C1.Enerji maliyetleri	0,162		
C1.1.Yatırım maliyeti		0,236	0,0382
C1.2.Ham madde maliyeti		0,271	0,0439
C1.3.İşletme maliyetleri		0,211	0,0342
C1.4.Enerji verimliliği		0,193	0,0313
C1.5.Tesisin çalıştığı süre		0,089	0,0144
C2.Enerji durumu	0,171		
C2.1.Enerji kullanım oranı		0,241	0,0412
C2.2.Enerji tasarruf oranı		0,275	0,0470
C2.3.Enerji iyileştirmeleri		0,282	0,0482
C2.4.Enerji tasarrufları		0,202	0,0345
C3.Karlılık	0,097		
C3.1.Ham madde maliyeti		0,297	0,0288
C3.1.Başa-baş noktası		0,273	0,0265
C3.1.Üretim maliyeti		0,337	0,0327
C3.1.Dışsal maliyetler		0,093	0,0090
C4.Performans	0,184		
C4.1.Enerji Yoğunluğu İndeksi (EDI) oranı		0,146	0,0269
C4.2.Enerji Tüketim Trendleri		0,126	0,0232
C4.3.Enerji Performans İndikatörleri-EPI		0,145	0,0267
C4.3.Referans Enerji Durumu-RES		0,148	0,0272
C4.4.Önemli Enerji Kullanımı (ÖEK) etkisi		0,165	0,0304
C4.5.Enerji referans çizgisi		0,148	0,0272
C4.6.Enerji gözden geçirmeler		0,122	0,0224
C5.Teknoloji	0,141		
C5.1.Kullanılan teknolojinin güvenilirliği		0,368	0,0519
C5.2.Teknolojik iyileştirmeler		0,429	0,0605
C5.3.Kapasite kullanım oranı		0,203	0,0286
C6.Bakım Personelinin Teknik Yeterlilikleri	0,151		
C6.1.Teknik bilgi ve uygulama becerisi		0,168	0,0254
C6.2.Öğrenme becerisi		0,163	0,0246
C6.3.Planlama becerisi		0,143	0,0216
C6.4.Bilgilerini güncelleyerek kendini geliştirme		0,176	0,0266
C6.5.Mevzuatları/teknolojiyi yakından takip etme		0,172	0,0260
C6.6.Tecrübe		0,178	0,0269
C7.Çevresel etkiler	0,094		
C7.1.Sera gazı salınımı		0,351	0,0330
C7.2.Küresel ısınmaya ve çevre kirliliğine etkisi		0,277	0,0260
C7.3.Atıklar		0,372	0,0350

Toplam

100

Daha sonra bu kriter ağırlıkları kullanılarak Petrokimya tesisindeki Üniteler Çizelge 2'deki ölçeğe göre Bulanık TOPSIS yöntemi ile değerlendirilmeleri yapılmıştır. Petrokimya tesisindeki Ünitelerin pozitif ideal çözüme ve negatif ideal çözüme olan uzaklıkları ve bu değerlerle hesaplanan yakınlık katsayıları hesaplanmıştır. Yakınlık katsayısı 1'e en yakın değer en uygun ve aranan niteliklerdeki Üniteyi ifade ederken "0" değerine en yakın değer ise uygun olmayan Üniteyi ifade etmektedir.

Karar probleminin çözümünde Bulanık AHP ile kriterin önem ağırlıkları bulunduktan sonra Bulanık TOPSIS yöntemi ile alternatiflerin bu kriterlere göre değerlendirilmesi yapılmıştır. Petrokimya tesisindeki ünitelerin kriterlere göre KV'ler tarafından kriterler bazında değerlendirilmesinde kullanılan sözel değişkenlerin bulanık sayı olarak ifadelerine göre üniteler için aşağıdaki Çizelge 7'de görülen bulanık karar matrisi oluşturulmuştur.

Çizelge 7. Bulanık Karar Matrisi

Ünite	CA1	CA2	CA3	CA4	CA5	CA6
Ü1	(0, 1, 3)	(0, 0, 1)	(0, 0, 1)	(0, 1, 3)	(3, 5, 7)	(0, 0, 1)
Ü2	(1, 3, 5)	(0, 0, 1)	(0, 1, 3)	(0, 0, 1)	(3, 5, 7)	(0, 0, 1)
Ü3	(1, 3, 5)	(0, 0, 1)	(0, 1, 3)	(0, 0, 1)	(5, 7, 9)	(0, 0, 1)
Ü4	(1, 3, 5)	(0, 0, 1)	(0, 1, 3)	(0, 0, 1)	(7, 9, 10)	(0, 1, 3)
Ü5	(0, 1, 3)	(0, 1, 3)	(1, 3, 5)	(0, 1, 3)	(7, 9, 10)	(0, 1, 3)
Ü6	(0, 1, 3)	(0, 1, 3)	(0, 1, 3)	(0, 1, 3)	(7, 9, 10)	(3, 5, 7)
Ü7	(0, 1, 3)	(1, 3, 5)	(1, 3, 5)	(1, 3, 5)	(7, 9, 10)	(3, 5, 7)
Ü8	(3, 5, 7)	(0, 1, 3)	(1, 3, 5)	(1, 3, 5)	(3, 5, 7)	(3, 5, 7)
Ü9	(3, 5, 7)	(0, 1, 3)	(3, 5, 7)	(1, 3, 5)	(3, 5, 7)	(3, 5, 7)
Ü10	(3, 5, 7)	(1, 3, 5)	(3, 5, 7)	(0, 1, 3)	(9, 10, 10)	(1, 3, 5)
Ü11	(3, 5, 7)	(0, 1, 3)	(3, 5, 7)	(0, 1, 3)	(7, 9, 10)	(5, 7, 9)
Ü12	(5, 7, 9)	(1, 3, 5)	(1, 3, 5)	(3, 5, 7)	(9, 10, 10)	(5, 7, 9)
Ü13	(3, 5, 7)	(1, 3, 5)	(3, 5, 7)	(3, 5, 7)	(7, 9, 10)	(3, 5, 7)

Çizelge 7'nin devamı

Ünite	CA7	CA8	CA9	CA10	CA11	CA12
Ü1	(0, 0, 1)	(1, 3, 5)	(0, 0, 1)	(0, 1, 3)	(5, 7, 9)	(0, 0, 1)
Ü2	(0, 0, 1)	(1, 3, 5)	(0, 0, 1)	(0, 0, 1)	(0, 0, 1)	(0, 0, 1)
Ü3	(0, 0, 1)	(1, 3, 5)	(0, 0, 1)	(0, 0, 1)	(0, 0, 1)	(3, 5, 7)
Ü4	(0, 0, 1)	(1, 3, 5)	(0, 0, 1)	(0, 1, 3)	(0, 0, 1)	(0, 1, 3)
Ü5	(0, 0, 1)	(1, 3, 5)	(0, 0, 1)	(3, 5, 7)	(5, 7, 9)	(0, 1, 3)
Ü6	(3, 5, 7)	(1, 3, 5)	(0, 0, 1)	(3, 5, 7)	(5, 7, 9)	(3, 5, 7)
Ü7	(0, 1, 3)	(0, 0, 1)	(0, 0, 1)	(0, 1, 3)	(5, 7, 9)	(5, 7, 9)
Ü8	(0, 1, 3)	(0, 0, 1)	(0, 1, 3)	(1, 3, 5)	(0, 1, 3)	(5, 7, 9)
Ü9	(0, 0, 1)	(3, 5, 7)	(0, 1, 3)	(0, 0, 1)	(0, 1, 3)	(3, 5, 7)
Ü10	(0, 1, 3)	(3, 5, 7)	(0, 1, 3)	(0, 0, 1)	(3, 5, 7)	(9, 10, 10)
Ü11	(3, 5, 7)	(3, 5, 7)	(0, 1, 3)	(1, 3, 5)	(5, 7, 9)	(9, 10, 10)
Ü12	(3, 5, 7)	(0, 0, 1)	(1, 3, 5)	(1, 3, 5)	(5, 7, 9)	(5, 7, 9)
Ü13	(3, 5, 7)	(0, 0, 1)	(0, 1, 3)	(0, 0, 1)	(3, 5, 7)	(3, 5, 7)

Çizelge 7'nin devamı

Ünite	CA13	CA14	CA15	CA16	CA17	CA18
Ü1	(0, 1, 3)	(1, 3, 5)	(5, 7, 9)	(5, 7, 9)	(1, 3, 5)	(5, 7, 9)
Ü2	(0, 1, 3)	(5, 7, 9)	(5, 7, 9)	(5, 7, 9)	(1, 3, 5)	(5, 7, 9)
Ü3	(3, 5, 7)	(3, 5, 7)	(5, 7, 9)	(5, 7, 9)	(1, 3, 5)	(5, 7, 9)
Ü4	(0, 1, 3)	(3, 5, 7)	(3, 5, 7)	(3, 5, 7)	(1, 3, 5)	(3, 5, 7)
Ü5	(3, 5, 7)	(5, 7, 9)	(7, 9, 10)	(7, 9, 10)	(3, 5, 7)	(7, 9, 10)
Ü6	(5, 7, 9)	(5, 7, 9)	(5, 7, 9)	(5, 7, 9)	(3, 5, 7)	(5, 7, 9)
Ü7	(0, 1, 3)	(7, 9, 10)	(7, 9, 10)	(5, 7, 9)	(3, 5, 7)	(5, 7, 9)
Ü8	(0, 1, 3)	(7, 9, 10)	(7, 9, 10)	(5, 7, 9)	(3, 5, 7)	(5, 7, 9)
Ü9	(0, 1, 3)	(7, 9, 10)	(9, 10, 10)	(7, 9, 10)	(3, 5, 7)	(7, 9, 10)
Ü10	(3, 5, 7)	(5, 7, 9)	(5, 7, 9)	(5, 7, 9)	(3, 5, 7)	(5, 7, 9)
Ü11	(5, 7, 9)	(3, 5, 7)	(9, 10, 10)	(7, 9, 10)	(5, 7, 9)	(5, 7, 9)
Ü12	(3, 5, 7)	(5, 7, 9)	(5, 7, 9)	(5, 7, 9)	(5, 7, 9)	(5, 7, 9)
Ü13	(5, 7, 9)	(3, 5, 7)	(7, 9, 10)	(5, 7, 9)	(5, 7, 9)	(7, 9, 10)

Çizelge 7'nin devamı

Ünite	CA19	CA20	CA21	CA22	CA23	CA24
Ü1	(1, 3, 5)	(1, 3, 5)	(7, 9, 10)	(5, 7, 9)	(5, 7, 9)	(5, 7, 9)
Ü2	(5, 7, 9)	(1, 3, 5)	(7, 9, 10)	(5, 7, 9)	(5, 7, 9)	(5, 7, 9)
Ü3	(5, 7, 9)	(7, 9, 10)	(9, 10, 10)	(5, 7, 9)	(5, 7, 9)	(9, 10, 10)
Ü4	(5, 7, 9)	(1, 3, 5)	(9, 10, 10)	(7, 9, 10)	(5, 7, 9)	(9, 10, 10)
Ü5	(3, 5, 7)	(3, 5, 7)	(7, 9, 10)	(5, 7, 9)	(9, 10, 10)	(7, 9, 10)
Ü6	(5, 7, 9)	(3, 5, 7)	(7, 9, 10)	(5, 7, 9)	(9, 10, 10)	(7, 9, 10)
Ü7	(3, 5, 7)	(3, 5, 7)	(9, 10, 10)	(5, 7, 9)	(9, 10, 10)	(7, 9, 10)
Ü8	(3, 5, 7)	(3, 5, 7)	(7, 9, 10)	(5, 7, 9)	(9, 10, 10)	(7, 9, 10)
Ü9	(7, 9, 10)	(7, 9, 10)	(7, 9, 10)	(7, 9, 10)	(9, 10, 10)	(7, 9, 10)
Ü10	(5, 7, 9)	(3, 5, 7)	(9, 10, 10)	(5, 7, 9)	(9, 10, 10)	(7, 9, 10)
Ü11	(7, 9, 10)	(7, 9, 10)	(9, 10, 10)	(5, 7, 9)	(3, 5, 7)	(7, 9, 10)
Ü12	(5, 7, 9)	(3, 5, 7)	(9, 10, 10)	(7, 9, 10)	(3, 5, 7)	(7, 9, 10)
Ü13	(5, 7, 9)	(5, 7, 9)	(9, 10, 10)	(5, 7, 9)	(3, 5, 7)	(7, 9, 10)

Çizelge 7'nin devamı

Ünite	CA25	CA26	CA27	CA28	CA29	CA30
Ü1	(7, 9, 10)	(9, 10, 10)	(3, 5, 7)	(0, 1, 3)	(0, 1, 3)	(0, 0, 1)
Ü2	(7, 9, 10)	(9, 10, 10)	(1, 3, 5)	(1, 3, 5)	(0, 1, 3)	(0, 0, 1)
Ü3	(7, 9, 10)	(9, 10, 10)	(3, 5, 7)	(0, 1, 3)	(3, 5, 7)	(0, 1, 3)
Ü4	(7, 9, 10)	(9, 10, 10)	(7, 9, 10)	(3, 5, 7)	(5, 7, 9)	(0, 1, 3)
Ü5	(7, 9, 10)	(9, 10, 10)	(5, 7, 9)	(7, 9, 10)	(3, 5, 7)	(1, 3, 5)
Ü6	(3, 5, 7)	(3, 5, 7)	(9, 10, 10)	(7, 9, 10)	(3, 5, 7)	(0, 1, 3)
Ü7	(7, 9, 10)	(7, 9, 10)	(5, 7, 9)	(3, 5, 7)	(3, 5, 7)	(1, 3, 5)
Ü8	(5, 7, 9)	(7, 9, 10)	(1, 3, 5)	(5, 7, 9)	(7, 9, 10)	(1, 3, 5)
Ü9	(9, 10, 10)	(7, 9, 10)	(3, 5, 7)	(3, 5, 7)	(3, 5, 7)	(1, 3, 5)
Ü10	(9, 10, 10)	(9, 10, 10)	(3, 5, 7)	(9, 10, 10)	(5, 7, 9)	(0, 1, 3)
Ü11	(9, 10, 10)	(9, 10, 10)	(9, 10, 10)	(7, 9, 10)	(3, 5, 7)	(1, 3, 5)
Ü12	(9, 10, 10)	(9, 10, 10)	(7, 9, 10)	(7, 9, 10)	(7, 9, 10)	(1, 3, 5)
Ü13	(9, 10, 10)	(9, 10, 10)	(9, 10, 10)	(9, 10, 10)	(7, 9, 10)	(1, 3, 5)

Çizelge 7'nin devamı

Ünite	CA31	CA32
Ü1	(0, 1, 3)	(0, 1, 3)
Ü2	(0, 1, 3)	(0, 1, 3)
Ü3	(0, 1, 3)	(0, 1, 3)
Ü4	(1, 3, 5)	(1, 3, 5)
Ü5	(1, 3, 5)	(1, 3, 5)
Ü6	(0, 1, 3)	(1, 3, 5)
Ü7	(1, 3, 5)	(0, 1, 3)
Ü8	(1, 3, 5)	(0, 1, 3)
Ü9	(1, 3, 5)	(1, 3, 5)
Ü10	(0, 1, 3)	(1, 3, 5)
Ü11	(1, 3, 5)	(1, 3, 5)
Ü12	(1, 3, 5)	(3, 5, 7)
Ü13	(1, 3, 5)	(3, 5, 7)

Çizelge 8. Normalize Bulanık Karar Matrisi

Ünite	CA1	CA2	CA3	CA4	CA5	CA6
Ü1	(0; 0,1; 0,3)	(0; 0; 0,1)	(0; 0; 0,1)	(0; 0,1; 0,3)	(0,3; 0,5; 0,7)	(0; 0; 0,1)
Ü2	(0,1; 0,3; 0,5)	(0; 0; 0,1)	(0; 0,1; 0,3)	(0; 0,0; 0,1)	(0,3; 0,5; 0,7)	(0; 0; 0,1)
Ü3	(0,1; 0,3; 0,5)	(0; 0; 0,1)	(0; 0,1; 0,3)	(0; 0; 0,1)	(0,5; 0,7; 0,9)	(0; 0; 0,1)
Ü4	(0,1; 0,3; 0,5)	(0; 0; 0,1)	(0; 0,1; 0,3)	(0; 0; 0,1)	(0,7; 0,9; 1)	(0; 0,1; 0,3)
Ü5	(0; 0,1; 0,3)	(0; 0,1; 0,3)	(0,1; 0,3; 0,5)	(0; 0,1; 0,3)	(0,7; 0,9; 1)	(0; 0,1; 0,3)
Ü6	(0; 0,1; 0,3)	(0; 0,1; 0,3)	(0; 0,1; 0,3)	(0; 0,1; 0,3)	(0,7; 0,9; 1)	(0,3; 0,5; 0,7)
Ü7	(0; 0,1; 3)	(1; 0,3; 0,5)	(0,0,1; 0,3; 0,5)	(0,1; 0,3; 0,5)	(0,7; 0,9; 1)	(0,3; 0,5; 0,7)

Ü8	(0,3; 0,5; 0,7)	(0; 0,1; 0,3)	(0,1; 0,3; 0,5)	(0,1; 0,3; 0,5)	(0,3; 0,5; 0,7)	(0,3; 0,5; 0,7)
Ü9	(0,3; 0,5; 0,7)	(0; 0,1; 0,3)	(0,3; 0,5; 0,7)	(0,1; 0,3; 0,5)	(0,3; 0,5; 0,7)	(0,3; 0,5; 0,7)
Ü10	(0,3; 0,5; 0,7)	(1; 0,3; 0,5)	(0,3; 0,5; 0,7)	(0; 0,1; 0,3)	(0,9; 1; 1)	(0,1; 0,3; 0,5)
Ü11	(0,3; 0,5; 0,7)	(0; 0,1; 0,3)	(0,3; 0,5; 0,7)	(0; 0,1; 0,3)	(0,7; 0,9; 1)	(0,5; 0,7; 0,9)
Ü12	(0,5; 0,7; 0,9)	(0,1; 0,3; 0,5)	(0,1; 0,3; 0,5)	(0,3; 0,5; 0,7)	(0,9; 1; 1)	(0,5; 0,7; 0,9)
Ü13	(0,3; 0,5; 0,7)	(0,1; 0,3; 0,5)	(0,3; 0,5; 0,7)	(0,3; 0,5; 0,7)	(0,7; 0,9; 1)	(0,3; 0,5; 0,7)

Çizelge 8'in devamı

Ünite	CA7	CA8	CA9	CA10	CA11	CA12
Ü1	(0; 0; 0,1)	(0,1; 0,3; 0,5)	(0; 0; 0,1)	(0; 0,1; 0,3)	(0,5; 0,7; 0,9)	(0; 0; 0,1)
Ü2	(0; 0; 0,1)	(0,1; 0,3; 0,5)	(0; 0; 0,1)	(0; 0; 0,1)	(0; 0; 0,1)	(0; 0; 0,1)
Ü3	(0; 0; 0,1)	(0,1; 0,3; 0,5)	(0; 0; 0,1)	(0; 0; 0,1)	(0; 0; 0,1)	(0,3; 0,5; 0,7)
Ü4	(0; 0; 0,1)	(0,1; 0,3; 0,5)	(0; 0; 0,1)	(0; 0,1; 0,3)	(0; 0; 0,1)	(0; 0,1; 0,3)
Ü5	(0; 0; 0,1)	(0,1; 0,3; 0,5)	(0; 0; 0,1)	(0,3; 0,5; 0,7)	(0,5; 0,7; 0,9)	(0; 0,1; 0,3)
Ü6	(0,3; 0,5; 0,7)	(0,1; 0,3; 0,5)	(0; 0; 0,1)	(0,3; 0,5; 0,7)	(0,5; 0,7; 0,9)	(0,3; 0,5; 0,7)
Ü7	(0; 0,1; 0,3)	(0; 0; 0,1)	(0; 0; 0,1)	(0; 0,1; 0,3)	(0,5; 0,7; 0,9)	(0,5; 0,7; 0,9)
Ü8	(0; 0,1; 0,3)	(0; 0; 0,1)	(0; 0,1; 0,3)	(0,1; 0,3; 0,5)	(0; 0,1; 0,3)	(0,5; 0,7; 0,9)
Ü9	(0; 0; 0,1)	(0,3; 0,5; 0,7)	(0; 0,1; 0,3)	(0; 0; 0,1)	(0; 0,1; 0,3)	(0,3; 0,5; 0,7)
Ü10	(0; 0,1; 0,3)	(0,3; 0,5; 0,7)	(0; 0,1; 0,3)	(0; 0; 0,1)	(0,3; 0,5; 0,7)	(0,9; 1; 1)
Ü11	(0,3; 0,5; 0,7)	(0,3; 0,5; 0,7)	(0; 0,1; 0,3)	(0,1; 0,3; 0,5)	(0,5; 0,7; 0,9)	(0,9; 1; 1)
Ü12	(0,3; 0,5; 0,7)	(0; 0; 0,1)	(0,1; 0,3; 0,5)	(0,1; 0,3; 0,5)	(0,5; 0,7; 0,9)	(0,5; 0,7; 0,9)
Ü13	(0,3; 0,5; 0,7)	(0; 0; 0,1)	(0; 0,1; 0,3)	(0; 0; 0,1)	(0,3; 0,5; 0,7)	(0,3; 0,5; 0,7)

Çizelge 8'in devamı

Ünite	CA13	CA14	CA15	CA16	CA17	CA18
Ü1	(0; 0,1; 0,3)	(0,1; 0,3; 0,5)	(0,5; 0,7; 0,9)	(0,5; 0,7; 0,9)	(0,1; 0,3; 0,5)	(0,5; 0,7; 0,9)
Ü2	(0; 0,1; 0,3)	(0,5; 0,7; 0,9)	(0,5; 0,7; 0,9)	(0,5; 0,7; 0,9)	(0,1; 0,3; 0,5)	(0,5; 0,7; 0,9)
Ü3	(0,3; 0,5; 0,7)	(0,3; 0,5; 0,7)	(0,5; 0,7; 0,9)	(0,5; 0,7; 0,9)	(0,1; 0,3; 0,5)	(0,5; 0,7; 0,9)
Ü4	(0; 0,1; 0,3)	(0,3; 0,5; 0,7)	(0,3; 0,5; 0,7)	(0,3; 0,5; 0,7)	(0,1; 0,3; 0,5)	(0,3; 0,5; 0,7)
Ü5	(0,3; 0,5; 0,7)	(0,5; 0,7; 0,9)	(0,7; 0,9; 1)	(0,7; 0,9; 1)	(0,3; 0,5; 0,7)	(0,7; 0,9; 1)
Ü6	(0,5; 0,7; 0,9)	(0,5; 0,7; 0,9)	(0,5; 0,7; 0,9)	(0,5; 0,7; 0,9)	(0,3; 0,5; 0,7)	(0,5; 0,7; 0,9)
Ü7	(0; 0,1; 0,3)	(0,7; 0,9; 1)	(0,7; 0,9; 1)	(0,5; 0,7; 0,9)	(0,3; 0,5; 0,7)	(0,5; 0,7; 0,9)
Ü8	(0; 0,1; 0,3)	(0,7; 0,9; 1)	(0,7; 0,9; 1)	(0,5; 0,7; 0,9)	(0,3; 0,5; 0,7)	(0,5; 0,7; 0,9)
Ü9	(0; 0,1; 0,3)	(0,7; 0,9; 1)	(0,9; 1; 1)	(0,7; 0,9; 1)	(0,3; 0,5; 0,7)	(0,7; 0,9; 1)
Ü10	(0,3; 0,5; 0,7)	(0,5; 0,7; 0,9)	(0,5; 0,7; 0,9)	(0,5; 0,7; 0,9)	(0,3; 0,5; 0,7)	(0,5; 0,7; 0,9)

Ü11	(0,5; 0,7; 0,9)	(0,3; 0,5; 0,7)	(0,9; 1; 1)	(0,7; 0,9; 1)	(0,5; 0,7; 0,9)	(0,5; 0,7; 0,9)
Ü12	(0,3; 0,5; 0,7)	(0,5; 0,7; 0,9)	(0,5; 0,7; 0,9)	(0,5; 0,7; 0,9)	(0,5; 0,7; 0,9)	(0,5; 0,7; 0,9)
Ü13	(0,5; 0,7; 0,9)	(0,3; 0,5; 0,7)	(0,7; 0,9; 1)	(0,5; 0,7; 0,9)	(0,5; 0,7; 0,9)	(0,7; 0,9; 1)

Çizelge 8'in devamı

Ünite	CA19	CA20	CA21	CA22	CA23	CA24
Ü1	(0,1; 0,3; 0,5)	(0,1; 0,3; 0,5)	(0,7; 0,9; 1)	(0,5; 0,7; 0,9)	(0,5; 0,7; 0,9)	(0,5; 0,7; 0,9)
Ü2	(0,5; 0,7; 0,9)	(0,1; 0,3; 0,5)	(0,7; 0,9; 1)	(0,5; 0,7; 0,9)	(0,5; 0,7; 0,9)	(0,5; 0,7; 0,9)
Ü3	(0,5; 0,7; 0,9)	(0,7; 0,9; 1)	(0,9; 1; 1)	(0,5; 0,7; 0,9)	(0,5; 0,7; 0,9)	(0,9; 1; 1)
Ü4	(0,5; 0,7; 0,9)	(0,1; 0,3; 0,5)	(0,9; 1; 1)	(0,7; 0,9; 1)	(0,5; 0,7; 0,9)	(0,9; 1; 1)
Ü5	(0,3; 0,5; 0,7)	(0,3; 0,5; 0,7)	(0,7; 0,9; 1)	(0,5; 0,7; 0,9)	(0,9; 1; 1)	(0,7; 0,9; 1)
Ü6	(0,5; 0,7; 0,9)	(0,3; 0,5; 0,7)	(0,7; 0,9; 1)	(0,5; 0,7; 0,9)	(0,9; 1; 1)	(0,7; 0,9; 1)
Ü7	(0,3; 0,5; 0,7)	(0,3; 0,5; 0,7)	(0,9; 1; 1)	(0,5; 0,7; 0,9)	(0,9; 1; 1)	(0,7; 0,9; 1)
Ü8	(0,3; 0,5; 0,7)	(0,3; 0,5; 0,7)	(0,7; 0,9; 1)	(0,5; 0,7; 0,9)	(0,9; 1; 1)	(0,7; 0,9; 1)
Ü9	(0,7; 0,9; 1)	(0,7; 0,9; 1)	(0,7; 0,9; 1)	(0,7; 0,9; 1)	(0,9; 1; 1)	(0,7; 0,9; 1)
Ü10	(0,5; 0,7; 0,9)	(0,3; 0,5; 0,7)	(0,9; 1; 1)	(0,5; 0,7; 0,9)	(0,9; 1; 1)	(0,7; 0,9; 1)
Ü11	(0,7; 0,9; 1)	(0,7; 0,9; 1)	(0,9; 1; 1)	(0,5; 0,7; 0,9)	(0,3; 0,5; 0,7)	(0,7; 0,9; 1)
Ü12	(0,5; 0,7; 0,9)	(0,3; 0,5; 0,7)	(0,9; 1; 1)	(0,7; 0,9; 1)	(0,3; 0,5; 0,7)	(0,7; 0,9; 1)
Ü13	(0,5; 0,7; 0,9)	(0,5; 0,7; 0,9)	(0,9; 1; 1)	(0,5; 0,7; 0,9)	(0,3; 0,5; 0,7)	(0,7; 0,9; 1)

Çizelge 8'in devamı

Ünite	CA25	CA26	CA27	CA28	CA29	CA30
Ü1	(0,7; 0,9; 1)	(0,9; 1; 1)	(0,3; 0,5; 0,7)	(0; 0,1; 0,3)	(0; 0,1; 0,3)	(0; 0; 0,1)
Ü2	(0,7; 0,9; 1)	(0,9; 1; 1)	(0,1; 0,3; 0,5)	(0,1; 0,3; 0,5)	(0; 0,1; 0,3)	(0; 0; 0,1)
Ü3	(0,7; 0,9; 1)	(0,9; 1; 1)	(0,3; 0,5; 0,7)	(0; 0,1; 0,3)	(0,3; 0,5; 0,7)	(0; 0,1; 0,3)
Ü4	(0,7; 0,9; 1)	(0,9; 1; 1)	(0,7; 0,9; 1)	(0,3; 0,5; 0,7)	(0,5; 0,7; 0,9)	(0; 0,1; 0,3)
Ü5	(0,7; 0,9; 1)	(0,9; 1; 1)	(0,5; 0,7; 0,9)	(0,7; 0,9; 1)	(0,3; 0,5; 0,7)	(0,1; 0,3; 0,5)
Ü6	(0,3; 0,5; 0,7)	(0,3; 0,5; 0,7)	(0,9; 1; 1)	(0,7; 0,9; 1)	(0,3; 0,5; 0,7)	(0; 0,1; 0,3)
Ü7	(0,7; 0,9; 1)	(0,7; 0,9; 1)	(0,5; 0,7; 0,9)	(0,3; 0,5; 0,7)	(0,3; 0,5; 0,7)	(0,1; 0,3; 0,5)
Ü8	(0,5; 0,7; 0,9)	(0,7; 0,9; 1)	(0,1; 0,3; 0,5)	(0,5; 0,7; 0,9)	(0,7; 0,9; 1)	(0,1; 0,3; 0,5)

Ü9	(0,9; 1; 1)	(0,7; 0,9; 1)	(0,3; 0,5; 0,7)	(0,3; 0,5; 0,7)	(0,3; 0,5; 0,7)	(0,1; 0,3; 0,5)
Ü10	(0,9; 1; 1)	(0,9; 1; 1)	(0,3; 0,5; 0,7)	(0,9; 1; 1)	(0,5; 0,7; 0,9)	(0; 0,1; 0,3)
Ü11	(0,9; 1; 1)	(0,9; 1; 1)	(0,9; 1; 1)	(0,9; 1; 1)	(0,3; 0,5; 0,7)	(0,1; 0,3; 0,5)
Ü12	(0,9; 1; 1)	(0,9; 1; 1)	(0,7; 0,9; 1)	(0,9; 1; 1)	(0,9; 1; 1)	(0,1; 0,3; 0,5)
Ü13	(0,9; 1; 1)	(0,9; 1; 1)	(0,9; 1; 1)	(0,9; 1; 1)	(0,9; 1; 1)	(0,1; 0,3; 0,5)

Çizelge 8'in devamı

Ünite	CA31	CA32
Ü1	(0; 0,1; 0,3)	(0; 0,1; 0,3)
Ü2	(0; 0,1; 0,3)	(0; 0,1; 0,3)
Ü3	(0; 0,1; 0,3)	(0; 0,1; 0,3)
Ü4	(0,1; 0,3; 0,5)	(0,1; 0,3; 0,5)
Ü5	(0,1; 0,3; 0,5)	(0,1; 0,3; 0,5)
Ü6	(0; 0,1; 0,3)	(0,1; 0,3; 0,5)
Ü7	(0,1; 0,3; 0,5)	(0; 0,1; 0,3)
Ü8	(0,1; 0,3; 0,5)	(0; 0,1; 0,3)
Ü9	(0,1; 0,3; 0,5)	(0,1; 0,3; 0,5)
Ü10	(0; 0,1; 0,3)	(0,1; 0,3; 0,5)
Ü11	(0,1; 0,3; 0,5)	(0,1; 0,3; 0,5)
Ü12	(0,1; 0,3; 0,5)	(0,3; 0,5; 0,7)
Ü13	(0,1; 0,3; 0,5)	(0,3; 0,5; 0,7)

Bulanık karar matrisi denklem (13) kullanılarak normalize edilmiştir. Bulanık karar matrisinin normalize edilmesinden sonra Çizelge 6'da gösterilen karar kriterlerinin önem ağırlıkları ile çarpılmasıyla ağırlıklı normalize edilmiş bulanık karar matrisi elde edilmiştir. Ağırlıklı normalize edilmiş bulanık karar matrisinden pozitif ideal çözüm ve negatif ideal çözüm noktaları elde edilir. Ağırlıklı normalize edilmiş bulanık karar matrisinden elde edilen bulanık pozitif ideal çözüm ve bulanık negatif ideal çözüm noktaları denklem (17)' e göre hesaplanmıştır.

Bulanık pozitif ideal çözüm ve bulanık negatif ideal çözüm noktalarının belirlenmesinden sonra her alternatifin tüm kriterler için bulanık pozitif ideal çözüm ve bulanık negatif ideal çözüme uzaklıkları hesaplanır. Bulanık sayılar arasındaki uzaklıkların hesaplanmasında petrokimya tesisindeki ünitelerin ilk kriterine göre bulanık pozitif ideal çözümden ve bulanık negatif ideal çözüme olan uzaklıkları denklem (20) e göre hesaplanmıştır. Petrokimya tesisindeki ünitelerin diğer karar kriterleri içinde bulanık pozitif ideal çözümden ve bulanık negatif ideal çözüme olan uzaklıklarının aynı şekilde hesaplanması sonucu bulunan değerler hesaplanmıştır.

Ünitelerin bütün kriterler için bulanık pozitif ideal çözümden ve bulanık negatif ideal çözüme olan uzaklıklarının bulunmasından sonra her 13 ünite için d_i^+ ve d_i^- değerleri hesaplanmıştır. Petrokimya tesisindeki ünitelerin yakınlık katsayıları sırasıyla denklem (21)' e göre hesaplanmıştır.

Bulanık VIKOR yönteminin çözümünde, tüm kriter fonksiyonlarının, bulanık en iyi formül (26) ve en kötü değerleri formül (27) no'lu formüllerle hesaplanmıştır. Sonraki adımda; formül (28) ve formül (29) formülleri kullanılarak her bir alternatifin en iyi bulanık ve en kötü bulanık değerlere uzaklıkları hesaplanmıştır. Maksimum grup faydası formül (30) ve minimum bireysel pişmanlık, formül (31) formülleri kullanılarak hesaplanmıştır. Son adımda uzlaşık çözüm veren \tilde{Q}_i formül (32) ile ilgili değerleri hesaplanır. Ayrıca bulanık sayılar durulaştırılarak formül (12); S_i , R_i ve Q_i indeks değerleri hesaplanmıştır. Bulunan indeks değerlerine göre alternatifler arasında küçükten büyüğe doğru bir sıralama yapılmıştır. İndeks değeri en küçük olan en iyi alternatifi göstermektedir. Bulanık VIKOR yöntemine göre; Ü12 ünitesi 1. sırada ve Ü10 ünitesi ise 2. sırada yer almıştır. Ü12 alternatifinin en iyi çözüm olup olmadığını test etmek için Adım 10 'da yer alan iki koşulun uygunluğunda kontrol edilerek, kabul edilebilir avantaj koşulu ise formül (34) ile kontrol edilmiştir. Ü12 alternatifi kabul edilebilir avantaj koşulunu sağlamıştır.

Petrokimya tesisinin ünitelerinin değerlendirilmesi problemi bir sıralama ve seçim problemidir. Modelde öncelikle Petrokimya tesisindeki 13 ünite için seçimde etkili olan ve daha önce belirlenen kriterler, karar verici tarafından dilsel yargılar ile değerlendirilmiştir. Daha sonra bu değerlendirmelerin bulanık sayı karşılıkları ile bulanık karar matrisi oluşturulmuştur. Kriterlerin önem ağırlıklarının belirlenmesinden sonra ünitelerin kriterlere göre dilsel değerlendirmeleri kullanılarak yakınlık katsayıları hesaplanmıştır. Belirlenen kriter ağırlıklarına göre üniteler Bulanık TOPSIS yöntemi ile sıralanmıştır. Ünitelerin yakınlık katsayıları Çizelge 9'da sunulmuştur.

Çizelge 9. d_i^+ , d_i^- ve CC_i Değerlerinin Hesaplanması

	Ü1	Ü2	Ü3	Ü4	Ü5	Ü6
d_i^+	0,719	0,781	0,592	0,583	0,641	0,338
d_i^-	0,257	0,337	0,253	0,324	0,422	0,426
$d_i^+ + d_i^-$	0,976	1,118	0,845	0,907	1,063	0,764
CC_i	0,263	0,301	0,299	0,357	0,397	0,558

Çizelge 9'un devamı

	Ü8	Ü9	Ü10	Ü11	Ü12	Ü13
d_i^+	0,468	0,391	0,219	0,406	0,194	0,294
d_i^-	0,601	0,481	0,326	0,622	0,836	0,709
$d_i^+ + d_i^-$	1,069	0,872	0,545	1,028	1,030	1,003
CC_i	0,562	0,552	0,598	0,605	0,812	0,707

Bulanık TOPSIS yöntemi ile Petrokimya tesisindeki 13 ünite için değerlendirme yapılmıştır. Ü1, Ü2 ve Ü3 bütün kriterler için en kötü puanlamaya sahip petrokimya tesisi içindeki üniteler olurken sırasıyla Ü12, Ü10, Ü11, Ü6 ve Ü8 ise yüksek puanlamaya sahip üniteler olmuştur. Söz konusu üniteler içinden yakınlık katsayısı en yüksek olan (en uygun olan) Ünite 0,812 ile Ü12 olmuştur.

Bulanık TOPSIS ve VIKOR yöntemlerin sonuçları karşılaştırıldığında; her iki yöntemde de 1. sırada Ü12 ünitesi ve 2. sırada Ü10 ünitesi çıkmıştır. Sadece Ü11 ve Ü6 alternatiflerinin sıralamalarında bir değişiklik olduğu gözlenmiştir. Bu bağlamda her iki yöntemin uygulanması sonucunda Ü12 ünitesinin seçilmesi uygun görülmüştür.

Çalışmada risk analizi ise; ilk adımda tehlikeler KV'lerle birlikte saptanarak Fine-Kinney yöntemi ile tehlikelerin risk puanları ve bu puanların karşılık geldiği risk seviyeleri belirlenmiştir. Daha sonra aynı uygulama bulanık Fine Kinney yöntemi ile tekrar hesaplanmıştır. Çalışma kapsamında sahadaki uygulamaların risk takip sistemi revize edilmiş ve operasyon sırasındaki risklerin azaltılması sağlanmıştır. Ayrıca tesiste uygulanan acil durum planının uygulama adımlarının ve ilgili iş aktivitesi risk analizlerinin üzerinden geçilmiş bu kapsamda tesiste uygulanan tatbikatlara (2 adet) ilave olarak yılda en az bir defa elektrik yangınları ile ilgili tatbikat yapılmasına karar verilmiştir.

ISO 50001 EYS standardı endüstriyel tesislerde enerji verimliliğinin sürekli iyileştirilmesini, geliştirilmesini hedeflemekte; sera gazı ile karbon salınımları vb. çevresel sorunlara çözüm getirmeyi de amaçlamaktadır. Bu kapsamda; elektrik tüketiminin azaltılması için ölçülebilir enerji hedeflerinin konulması, sürekli iyileştirmelerin izlenmesi kapsamında; PUKÖ yönetim metodolojisi ile tesis içi günlük faaliyetler gözden geçirilmiştir. ISO 50001 EYS standardı sayesinde tesisler; LEED (Enerji ve Çevre Dostu Tasarımda Liderlik) in enerji verimliliği, düşük enerji tüketim oranı ve tasarruf kriterlerini sağlayarak dünya çapında geçerli saygın, çevre ve enerji verimlilik sertifikası olarak kabul

edilen LEED-Gold sertifikasını kolaylıkla alabilmektedir.

4. Tartışma ve Sonuç

Ülkemizde AB mevzuatına uyum kapsamında hazırlanan "Enerji Kaynaklarının ve Enerjinin Kullanımında Verimliliğin Artırılmasına dair Yönetmelik(2011)" in (değişiklik 27.01.2020) 18. maddesinde a bendinde yer alan "ISO 50001 Enerji Yönetim Sistemi-Kullanım Kılavuzu ve Şartlar Standardı belgesine sahip olma" ve birinci madde kapsamında "endüstriyel işletmenin üç yıl içerisinde enerji yoğunluğunu ortalama olarak en az % 10 oranında azaltmayı taahhüt etmesi" ana şartları aranmaktadır. ISO 50001 Enerji Yönetim Sisteminin endüstriyel tesislerde kullanıldığı zaman hem söz konusu şartı sağlamayı hem de aşağıda belirtilen hususların sağlanmasını garanti altına almış oluruz:

- Şirketin enerji ve çevre politikası resmîyet kazanır.
- Tesisin enerji maliyetleri azaltarak enerji verimliliğini artırır. Tesisteki enerji tüketimi belirlenerek; EYS sistemi ile sistematik bir yaklaşım ile enerji maliyetleri azaltılır.
- Tesisin seragazı emisyonları ve çevresel etkileri azaltılarak yasal yükümlülöklere, ilgili mevzuatlara uyumu garanti altına alınır.
- Tesisin enerji risklerini belirlendiği için enerji temininde güveni artırır.
- Tesisteki teknik çözümlere sistematik bir yaklaşım sağlayarak, ilgili çözümleri önceliklendirerek enerji kullanım miktarlarını azaltarak tesisin verimliliğinin artırılmasına katkı sağlar.
- Üst yönetimin katılımı ile enerji yönetimi tesis için yapılacak yatırımların ivedilikle yapılması sağlar.
- Şirket içinde yürütölen enerji politikalarını resmileştirir.
- Çevre korunarak, kaynakların etkin kullanımı sağlanır.
- Enerji Yönetim sistemi mevcut yönetim sistemleri ile entegre edilerek bir kurum kültürü oluşur.
- Tesisin karbon salınımını azaltarak daha çevreci bir tesis olmasını sağlar.
- Tesiste kullanılması planlanan diğere uluslararası yönetim sistemleri ile (BS EN 16001 Enerji Yönetim Sistemi, ISO14001 Çevre Yönetim Sistemi, ISO9001

Kalite Yönetim Sistemi,...) uyumludur, kolayca uygulanabilir.

EYS sayesinde endüstriyel tesisteki makinelerin enerji verimliliğini ve önemli enerji kullanımları (ÖEK) dikkate alınarak; basınç ayarları, sıcaklık ayarları, operasyonel kontrol kriterleri gözden geçirilir. Tesisteki enerji verimliliği artırarak, tüketilen enerjide tasarruf edilmesini ve çevre etki ve maliyetlerinin azaltılmasını, enerji performanslarının geliştirilmesi için gerekli sistemlerini ve proseslerini kurulmasını sağlar. Söz konusu EYS ile; tesisin yol açtığı çevresel etkiler, sera gazı ile karbon salınımları, ilgili enerji maliyetlerinin düşmesi sağlanır. Tesisteki enerji ile ilgili ÖEK'ların anahtar özellikler (Enerji Performans İndikatörleri-EPI ve Referans Enerji Durumu-RES) sorumlu anahtar kişilerin belirlenmesi ile izlenir, ölçülür ve takip edilir. Çalışmada bir petrokimya tesisinin ISO 50001 Enerji Yönetim Sistemini uygulaması değerlendirilmiş, tesiste enerji tüketen önemli ekipmanların enerji performans indikatörleri-EPI ve Referans Enerji Durumu-RES ler tanımlanmış, ekipmanların enerji verimliliği ve önemli enerji kullanımları (ÖEK) hesaplanmış ve irdelenmiştir. Ayrıca yüksek enerji tüketen ekipmanların performansındaki her değişimin izlenmesi, yönetilmesi ve iyileştirilmesi amacıyla; tesisin enerji tüketim miktarlarına uygun bir veri periyodu belirlenerek ekipmanların enerji referans değerleri hesaplanmıştır. Bu kapsamda tesisin toplam elektrik tüketim miktarları Enerji İzleme Sisteminden (EİS) alınarak kontrol edilmiş; tesisin enerji hedefleri, referans yıl tüketimi, aksiyon tasarruf oranı, hedefler için referans yıl tüketimi, hedef tasarruf oranı, amaçlar için referans yıl tüketimi, amaç tasarruf oranı yeniden belirlenmiştir. Tesisin elektrik tüketiminin azaltılması için ölçülebilir enerji hedeflerinin konulması, sürekli iyileştirmelerin izlenmesi kapsamında; PUKÖ yönetim metodolojisi ile tesis içi günlük uygulamaları gözden geçirilmiştir. Ayrıca çalışma kapsamında; ülkemizde bir petrokimya tesisinde kullanılan Önemli Enerji Kullanım (ÖEK) formu ile İşletme Kriterleri formu oluşturulurken çok-kriterli-karar-verme (ÇKKV) yöntemlerinden Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesinden (AHP) yönteminden faydalanılmıştır

(ÇKKV yöntemler içinde çok sık kullanıldığından bu yöntem seçilmiştir). Bulanık AHP yönteminde karşılaştırmalar Karar Vericiler (KV) yardımıyla uzmanların tecrübelerini yansıtmakta olup karar verme aşamasında seçim kriterlerini (kriterleri/alt kriterleri) birleştirme seçeneğini sunan bir yöntem olduğu için literatürde çok sık kullanılmaktadır. Çalışmada değerlendirmeler; petrokimya tesislerinde tecrübesi olan enerji konusunda uzman kamuda ve özel sektörde çalışan müdür, şef, başmühendis, mühendis, teknisyen, tekniker olan KV'ler tarafından doldurulan anketler ve görüşmeler (toplam 24 kişi ile görüşülmüştür) neticesinde Bulanık AHP ve Bulanık TOPSIS yöntemleri ile değerlendirilerek, söz konusu formlar oluşturulmuştur. Oluşturulan formlar sahada EYS için kontrol listesi olarak da kullanılmıştır. Bu kapsamda tesiste çalışanlar için gerekli EYS eğitimleri planlanmış, tesis kontrollerinin geliştirilmesi adına önleyici bir yapı (proaktif bir anlayışla) ile yürütülmesi sağlanmıştır.

Çok-kriterli-karar-verme (ÇKKV) yöntemlerinde; karar problemlerinin çözümünde nicel bilgi ve kriterler yanında nitel bilgi ve kriterler de kullanılmaktadır. Ancak problemlerin yapısı gereği karar vericilerin sübjektif değerlendirmeleri ve nitel bilgilerin bulunması halinde karar ortamı bulanıklaşmaktadır. Bulanık mantık ve bulanık küme teorisi kesin olmayan bulanık bilgilerin kullanılmasına ve matematiksel modeller kurulmasına imkân sağlamaktadır. Bir karar problemi olarak bir petrokimya tesisindeki 13 ünite için değerlendirmesi yapılmıştır. Ünitenin seçiminde nitel kriterlerin bulunması ve karar vericilerin sübjektif değerlendirmeleri nedeniyle belirsizlik ve bulanıklık içermektedir. Bu nedenle ünitenin seçiminde bulanıklık içeren kriterler bulanık mantık ve dilsel değişkenlerin kullanılması ile modellenerek karar sürecine katılmıştır. Önerilen karar destek modeli ile daha gerçekçi bir karar analizi yapılmıştır. Çalışmada petrokimya tesisindeki ünite seçimi karar probleminin ve benzer problemlerin çözümü için Bulanık AHP ve Bulanık TOPSIS yöntemlerinin birlikte kullanıldığı bir karar destek modeli önerilmiştir. Önerilen modelde ünitenin seçiminde etkili olan ana kriter ve alt kriterler dilsel değişkenler kullanılarak bulanık sayılar ile karşılaştırılmış ve

önem ağırlıkları hesaplanmıştır. Daha sonra KV'ler kriterlere göre ünitelerin dilsel değişkenler kullanılarak bulanık sayılar ile değerlendirilmesi yapılmıştır. Bulanık TOPSIS yöntemi alternatifleri kendi arasında pozitif ideal çözüm ve negatif ideal çözüm noktalarını dikkate alarak değerlendirmiştir. TOPSIS yöntemi alternatifleri kendi aralarında değerlendirmektedir. Diğer bir ifadeyle en yakın ve en uzak geometrik uzaklıkları referans olarak çözümleme yapmaktadır. Dolayısıyla idealize çözümlere göre değerlendirme yapmak yerine hazırda bulunan alternatif değerleri kullanılmaktadır. Karar probleminde alternatifler ideal pozitif çözüm ve ideal negatif çözüm noktalarına göre sıralanmıştır. Bulanık TOPSIS ve Bulanık VIKOR yöntemlerinde alternatiflerin sıralaması yapılırken Q ve yakınlık katsayısı (CC_i) indeksinin değerlerine bakılır. VIKOR yönteminde Q_i indeksinin "0" değerine yakın olması, TOPSIS yönteminde ise CC_i 'nin "1" değerine yakın olması istenir. Bulanık TOPSIS ve Bulanık VIKOR yöntemlerine göre petrokimya tesisindeki her bir ünite için hesaplanan yakınlık katsayılarına göre üniteler arasından seçim yapılmıştır. Çalışmada bulanık mantık kullanılarak bütünleşik bir karar destek modeli olarak kullanılan yöntemin nitel karar kriterlerinin bulunduğu bulanık karar problemlerinde uygulanarak EYS kontrol formları oluşturulmuştur.

Çalışma kapsamında ülkemizdeki bir uluslararası bir enerji tesisinde enerji ile ilgili kaza risklerini düşürmek için alınması gereken eylemler, alınması gereken ilave tedbirler, ilgili EYS için kontrol formları oluşturulurken çok-kriterli-karar-verme (ÇKKV) yöntemi olan; Bulanık AHP ile Bulanık TOPSIS yöntemlerinden faydalanılmıştır. Bulanık AHP (sözel karşılaştırma matrisi oluşturulmuş, değerlerin ortalaması alınmış, bulanık üçgen sayıların geometrik ortalaması bulunmuş, bulanık ağırlık değerleri hesaplanmış, durulaştırılmış, son aşamada normalize edilmiştir) ve Bulanık TOPSIS yöntemleri (Alternatiflerin ideal çözüme (pozitif ve negatif değerlere) uzaklıkları ile bu değerlerle hesaplanan yakınlık katsayıları hesaplanmıştır. Yakınlık katsayısı; hesaplanan seçenek bir civarındaki (veya bire en yakın olan) değer en uygun ve aranan niteliklerdeki çözümü ifade ederken; '0' değerine en yakın değer

ise uygun olmayan çözümü ifade etmektedir) kullanılarak doldurulan anketler ve görüşmeler neticesinde değerlendirilmiştir. Kontrol listesindeki kriterlerinin ağırlıkları Bulanık AHP yöntemi ile belirlenirken, sıralaması Bulanık TOPSIS yöntemi ile yapılmıştır. Çalışmada Bulanık TOPSIS yöntemi kullanılarak, en uygun seçim kararının alınması hedeflenmiştir. Çalışmada petrokimya tesisindeki 13 ünite için kriterlerin önem ağırlıklarının belirlenmesinden sonra ünitelerin kriterlere göre dilsel değerlendirmeleri kullanılarak yakınlık katsayıları hesaplanmıştır. Belirlenen kriter ağırlıklarına göre üniteler Bulanık TOPSIS yöntemi ile sıralanmıştır. Ünitelerin yakınlık katsayıları hesaplanarak Çizelge 9'da sunulmuştur. Bulanık TOPSIS yöntemi ile Petrokimya tesisindeki 13 ünite için değerlendirme yapılmıştır. Ü1, Ü2 ve Ü3 bütün kriterler için en kötü puanlamaya sahip petrokimya tesisi içindeki üniteler olurken sırasıyla Ü12, Ü10, Ü1, Ü6 ve Ü8 ise yüksek puanlamaya sahip üniteler olmuştur. Söz konusu üniteler içinden yakınlık katsayısı en yüksek olan (en uygun olan) Ünite 0,812 ile Ü12 olmuştur.

İncelenen Petrokimya tesisinin üniteleri EYS kriterleri altında seçim problemi; Bulanık VIKOR ve Bulanık TOPSIS yöntemleriyle çözümü neticesinde, Ü12 ünitesinin diğer alternatifler arasında birinci sırada seçilmiştir. Bulanık TOPSIS ve VIKOR yöntemiyle elde edilen sonuçların sıralaması birbirine çok yakındır. Her iki yöntemde; 1. sırada Ü12 ünitesi ve 2. sırada Ü10 ünitesi çıkmıştır. Sadece bulanık VIKOR yönteminde üçüncü ve dördüncü üniteler olan Ü11 ve Ü6 alternatiflerinin sıralamalarında bir değişiklik olduğu gözlenmektedir. Bunun sebebi ise alternatiflerin sıralanması ve seçim aşamasında, maksimum grup faydası (çoğunluk kuralı) ve minimum bireysel pişmanlığı sağlayacak uzlaştırmacı çözüm aranmasıdır. ÇKKV tekniği olan TOPSIS ve VIKOR yöntemlerinin her ikisi de "ideal çözüme yakınlık" referans noktasına dayanmaktadır. VIKOR lineer normalizasyonu kullanırken TOPSIS vektör normalizasyonunu kullanmaktadır.

Endüstriyel tesisler için risk değerlendirmesi; risk ve tehlike seviyesine göre değişmekte olup çok tehlikeli seviyede en geç iki yılda bir, tehlikeli seviyede dört yılda bir, az tehlikeli tesislerde altı yılda bir

yenilenmelidir. Tesiste enerji ile ilgili kazaları önlemek için gerekli sorumluluk ve kontrol bilinci, tesisin enerjilendirilmesi ile ilgili birim sorumlularından başlayarak en alt birimde tüm kademedeki personele verilmesi sağlanmıştır. Çalışma kapsamında ülkemizdeki uluslararası enerji tesisinin risk ve tehlike seviyeleri yeniden gözden geçirilerek, gerekli değişiklikler ile düzenlemeler yapılmıştır.

Endüstriyel tesislerde tehlikeli riskler; 5x5 Risk Matrisi ile Fine Kinney Metodu'na göre değerlendirilir. 5x5 Matris Metodu'nda tesisin risk değerlendirmesi; risk değerlendirme ekibinin "Tehlike Büyüklüğü" ve "Tehlike Sıklığı" puanlamasına göre "Risk Derecelendirme Matrisine" göre hesaplanır. Çıkan risk seviyesi "Riski Kontrol Altına Alma Yöntemleri" ile tesisin, ilgili ünitenin risk seviyesi düşürülmelidir. Fine Kinney Metodu'nda tesisin risk değeri; $R = O \times S \times \xi$ (R: Risk, O: Olasılık, S: Sıklık, ξ : Şiddet) ile hesaplanır. Bu yöntemde hesaplanan "R: Risk Değeri"ne göre risk düşürme eylem planı uygulanmalıdır. Endüstriyel tesiste "riski düşürme eylem planı" kapsamında; alınacak önlemlerde öncelik hiyerarşisine uygun bir eylem planı (tedbirler alma, ortadan kaldırma, mühendislik kontrolleri ve uygulamalar, ikame eylem yöntemleri, dikkatle izleme, işaret ve uyarı levhaları kullanma, saha kontrolleri, işe özel kişisel koruyucu donanım kullanma, detaylı uygulama planı (MoS) hazırlama ve uygulama, çalışmaya ara verme) ile riskin durumu ile ilgili "takip sistemi" oluşturularak risklerin azaltılması sağlanmalıdır. Endüstriyel tesisteki EYS performansı düzenli bir şekilde ilgili prosedürler doğrultusunda izlenmeli, ölçülmeli ve üst yönetime düzenli olarak raporlanmalıdır. Çalışma kapsamında ülkemizdeki bir uluslararası enerji tesisinin risk değerlendirmesi yapılmıştır. Tesiste yapılan çalışmaların; Fine Kinney Metodu ile (klasik ve bulanık yöntemler kullanarak) Risk Değerleri hesaplanmıştır. Çalışmada risk analizi için ilk adımda tehlikeler (KV' lerle birlikte) saptanarak Fine Kinney yöntemi ile tehlikelerin risk puanları ve bu puanların karşılık geldiği risk seviyeleri belirlenmiştir. Daha sonra aynı uygulama bulanık Fine Kinney yöntemi ile tekrar hesaplanmış ve değerlendirilmiştir. Çalışmada girdiler ve çıktı karar kurallarında detayları Bölüm 2.3.2. de verilen

Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesinden (AHP) yönteminden faydalanılmıştır. Bu kapsamda tesiste riskli ve çok tehlikeli bölgeler enerji altında kıvılcım ve kaza riskini (Zone 0) düşürmek için alınması gereken eylemler, gözden geçirilerek, ilave tedbirler (sahada alınan tedbirler, riski ortadan kaldırma eylem planları, eylemlerin dikkatle izleme, eğitimler planlama, var olan işaret ve uyarı levhaları yenilerinin eklenmesi, saha uygulama planı (MoS) gözden geçirilerek ilaveler yapılmıştır) irdelenmiştir. Değerlendirme sonucu "Risk Değeri: R" $R > 400$ olan "Çok Yüksek Risk" olan EYS iş aktivitelerinde (yüksek gerilim kontrol rölesi ve devre bağlantısı, topraklaması kapsamında) çalışmaya ara verilerek derhal tedbir alınmıştır. "Riski Kontrol Altına Alma Yöntemleri" nde yer alan "Kontrol Altına Alma Yöntemleri" vasıtasıyla "Çok Yüksek Risk" seviyesindeki önlemler vasıtasıyla (sahada alınan önlemler: devre kesiciler, sigortalar, topraklama, aşırı akım rölesi, ikaz regülatörü önlemleri, gerekli eğitimler, işbaşı eğitimleri, ilave KKD ve uyarı levhaları, DF, acil durum planlaması ve ilave tatbikatlar, çalışma koşullarının iyileştirilmesi, işbaşı performans ölçümü ve izleme) ile risk kontrol altına alınmış ve risk seviyesi "Önemli Riskler" seviyesine düşürülmüştür. Tesiste uygulanan acil durum planının uygulama adımları ve ilgili iş aktivitesi risk analizleri gözden geçirilmiş; bu kapsamda tesiste uygulanan tatbikatlara (2 adet) ilave olarak yılda en az bir defa elektrik yangınları ile ilgili tatbikat yapılmasına karar verilmiştir. Tesisin PUKÖ metodolojisi ile uygulamalar denetlenerek, sahadaki uygulamaların risk takip sistemi revize edilmiş, ilgili iyileştirmeler yapılmış ve operasyon sırasındaki risklerin azaltılması sağlamak amacıyla; işletmenin yıllık aksiyon planları revize edilerek, ilgili adımlar revize edilmiştir. Ayrıca iş aktivitelerinin risk değerlendirmesi sonucu; tesiste pek çok aktivitenin "çok tehlikeli" sınıfta olduğu tespit edilmiştir. Bu kapsamda özellikle tesisler enerji altındayken kıvılcım ve kaza riskini (Zone 0: gazlı ortam) düşürmek için alınması gereken önlemler için işletmecilerle firma yetkilileri ile görüşülmüş, söz konusu aktivitenin yılda bir değerlendirmesinin yeniden yapılmasına, gözden geçirilmesine karar verilmiştir. 2011 yılında yürürlüğe giren (Değişik: 27.01.2020) "Enerji Kaynaklarının ve Enerjinin Kullanımında

Verimliliğin Artırılmasına dair Yönetmelik” in beşinci bölümünde ise “Endüstriyel İşletmelerde Verimlilik Artırıcı Projelerin (VAP) Desteklenmesi” ile ilgili başvuru, değerlendirme, desteklerin uygulanması esasları detaylı anlatılmaktadır. (destek proje bedeli KDV hariç bir milyon Türk Lirasıdır) Ülkemizdeki endüstriyel tesislerin ISO 50001 Enerji Yönetim Sistemine geçmesi ile AB destekli VAP Projelerine kolayca başvurulabilecek ve söz konusu VAP desteğinin kısa sürede alınması için diğer ülkelerin projelerinden birkaç adım önde olacaktır.

2017 yılında ülkemizdeki sanayi tesislerinde toplam 485 enerji verimliliği projesi gerçekleştirilmiş olup 111.722 TEP (ton eşdeğer petrol) tasarruf edilmiştir (645.474 ton karbondioksit salınımı azaltılmıştır). Ülkemizde son yıllarda enerji verimliliği açısından çok önemli gelişmeler sağlanmasına rağmen hâlâ AB'nin (özellikle Almanya, İngiltere...) gerisindeyiz ve pek çok sanayii tesisinde iyileştirmelerin yapılması gerekmektedir. Ayrıca endüstriyel tesisler sahip oldukları ISO 50001 Enerji Yönetim Sistemi belgesi sayesinde; tesislerinin enerji verimliliğinin iyileştirilmesine ilişkin projeler kapsamında ETKB, AB ve Dünya Bankası tarafından verilen çeşitli kredi ve hibelere, teşviklere kolaylıkla başvurabileceklerdir.

5. Kaynaklar

- Buckley, J. J., 1985. Fuzzy Hierarchical Analysis. *Fuzzy Sets and Systems*, **17**, 233-247.
- Buckley, J. J., 2003. Fuzzy Probabilities. *New Approach and Applications*, Physica-Verlag, New York.
- Chan, F. T. S., Kumar, N., 2007. Global Supplier Development Considering Risk Factors Using Fuzzy Extended AHP-based Approach. *Omega International Journal of Management Science*, **35**, 417-431.
- Chang, D. Y., 1996. Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP. *European Journal of Operational Research*, **95**, 649-655.
- Chen, S. J., Hwang, C. L., 1992. Fuzzy Multiple Attribute Decision Making Methods and Applications. Berlin Heidelberg, Springer
- Chen, C. T., 2000. Extensions of the TOPSIS for group decision-making under fuzzy environment. *Fuzzy Sets and Systems*, 114-119.

- Chen, C. T., 2001. A Fuzzy Approach to Select the Location of the Distribution Center. *Fuzzy Sets and Systems*, **118**, 65-73.
- Chen, G., Pham, T. T., 2001. Fuzzy Sets, Fuzzy Logic, and Fuzzy Control Systems. CRC Press, USA.
- Chen, C. T., Lin, C. T., Huang, S. F., 2006. A fuzzy approach for supplier evaluation and selection in supply chain management. *International Journal of Production Economics*, **102**, 289-301.
- Chen, L. Y., Wang, T. C., 2009. Optimizing Partners Choice in IS/IT Outsourcing Projects: The Strategic Decision of Fuzzy VIKOR. *International Journal of Production Economics*, **120**(1), 233-242.
- Deng, H., 1999. Multicriteria Analysis with Fuzzy Pairwise Comparison. *International Journal of Approximate Reasoning*, **21**, 215-231.
- Deming, W. E., 1982. Quality, Productivity and Competitive Position. MIT. *Center of Advance Engineering*, Cambridge, MA.
- Enerji Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB), 2018. Enerji Raporu, 25-38.
- Imai, M., 2004. Kaizen, Kalder Yayınları.
- ISO 50001, 2018. Enerji Yönetim Sistemi Standardı.
- Ghodsypour, S. H., O'Brien, C., 1998. A decision support system for supplier selection using an integrated analytic hierarchy process and linear programming. *Int. J. Production Economics*, 56-57.
- Hu, Y., Wu, S., Cai, L., 2009. Fuzzy Multi-Criteria Decision-Making TOPSIS for Distribution Center Location Selection. *International Conference on Networks Security, Wireless Communications and Trusted Computing IEEE*, 707-710.
- Incekara, C. O., 2020. Türkiye' nin Elektrik Üretiminde Doğalgaz Talep Tahminleri. *Journal of Turkish Operations Management*, Cilt 3, **2**, 298-313.
- Incekara, C. O., 2020. Turkey's Natural Gas Demand Projections. *EJONS International Journal On Mathematics, Engineering & Natural Sciences*, Volume (4), Issue (**15**): 489-505.

- Incekara, C. O., 2020. Evaluation of Turkey's International Energy Projects by Using Fuzzy Multi-Criteria Decision Making Methods. *Euroasia Journal of Mathematics, Engineering, Natural & Medical Sciences*, Volume (8), Issue (9): 206-217.
- Incekara, C. O., 2020. Enerji Sektöründe Faaliyet Gösteren Bir İşletmede İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetim Sistemi. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Uygulamalı Bilimler Dergisi*, Cilt 4, 1, 152-177.
- Incekara, C. O., 2019. Use of an Optimization Model for Optimization of Turkey's Energy Management by inclusion of Renewable Energy Sources. *International Journal of Environmental Science and Technology*, Springer, 121-133.
- Incekara, C. O., 2019. Türkiye ve AB'nin Enerji Stratejileri ve Politikaları. *Journal of Turkish Operations Management*, Cilt 3, 2, 298-313.
- Incekara, C. O., 2019. Turkey's Energy Management Plan by using Fuzzy Modeling Approach. *Scholars' Press*, Book, 38-52.
- İncekara, Ç. Ö., 2018. Ülkemizdeki Enerji Santral Yatırımlarının AHP Yöntemi ile Değerlendirilmesi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 33, 4, 185-196.
- Incekara, C. O., Oğulata, S. N., 2017. Turkey's energy planning considering global environmental concerns. *Ecological Engineering*, Elsevier, 589-595.
- İncekara, Ç. Ö., 2013. Turkey's Energy Strategies. *SOSBİLKO 2013*, 113-129.
- Junior, F. R. L., Osiro, L., Carpinetti, L. C. R., 2014. A comparison between Fuzzy AHP and Fuzzy TOPSIS methods to supplier selection. *Applied Soft Computing*, 21, 194-209.
- Kahraman, C., Cebeci, U., Ulukan, Z., 2003. Multi-Criteria Supplier Selection Using Fuzzy AHP. *Logistics Information Management*, 16, 6, 382-394.
- Klir, G. J., 1995. *Fuzzy Sets and Fuzzy Logic Theory and Applications*. Prentice Hall PTR, New Jersey.
- Kumar, Sahu, A., Datta, S., Mahapatra, S. S., 2016. Evaluation and selection of resilient suppliers in fuzzy environment. *Benchmarking: An International Journal*, 23, 3, 651-673.
- Leung, L., Cao, D., 2000. On Consistency and Ranking of Alternatives in Fuzzy AHP. *European Journal of Operational Research*, 124, 102-113.
- Opricovic, S., 2011. Fuzzy VIKOR with an application to water resources planning. *Expert Systems with Applications*, 38, 12983-12990.
- Opricovic, S., 1998. *Multi Criteria Optimization of Civil Engineering Systems*. Faculty of Civil Engineering, Belgrade.
- Opricovic, S., Tzeng, G. H., 2004. The compromise solution by MCDM methods: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS. *European Journal of Operational Research*, 156(2), 445-455.
- Saaty, T. L., 2008. Decision making with the analytic hierarchy process. *Int. J. Services Sciences*, 1, 1, 83-98.
- Satrovic, E., Dag, M., 2019. Energy consumption, urbanization and economic growth relationship: an examination on OECD countries, *Dicle Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, Vol. 11(22), 315-324.
- Shukla, R. K., Gray, D., Agarwal, A., 2014. An integrated approach of Fuzzy AHP and Fuzzy TOPSIS in modeling supply chain coordination. *Production & Manufacturing Research*, 2(1): 415-437.
- Tavakkoli-Moghaddam, R., Mousavi, S., Heydar, M., 2011. An Integrated AHP-VIKOR Methodology for Plant Location Selection. *International Journal of Engineering*, 24 (2), 127-137.
- Thengane, S. K., Hoadley, A., Bhattacharya, M. S., Bandyopadhyay, S., 2014. Cost-benefit analysis of different hydrogen production technologies using AHP and Fuzzy AHP. *International Journal of Hydrogen Energy*, 39, 152-159.
- Wang, Y. M., Luo, Y., Hua, Z., 2008. On the Extent Analysis Method for Fuzzy AHP and its Applications. *European Journal of Operational Research*, 186, 735- 747.
- Zadeh, L. A., 1965. Fuzzy Algorithms, Information and Control. 12(2), 94-102.

Zarte, M., Pechmann, A., Nunes, I. L., 2018. Sustainable Evaluation of Production Programs Using A Fuzzy Inference Model—A Concept. *Procedia CIRP*, **73**, 241-246.