

## **Bir Kamu Eğitim Binasının Enerji Kalitesinin ve Verimliliğinin Analizi ile Geliştirilmesine Yönelik Öneriler**

İsmail ASLAN<sup>1</sup>, Sunay TÜRKDOĞAN<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Elektrik-Elektronik Mühendisliği EABD, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Yalova Üniversitesi, Türkiye

<sup>2</sup>Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Mühendislik Fakültesi, Yalova Üniversitesi, Türkiye

([ismail.aslan@yalova.edu.tr](mailto:ismail.aslan@yalova.edu.tr), [sunay.turkdogan@hotmail.com](mailto:sunay.turkdogan@hotmail.com))

**Özet** – Bugünün dünyasında, yeni enerji kaynakları aramak kadar mevcut kaynakları daha etkili bir şekilde kullanmak da önemlidir. Elektrik enerjisi, diğer enerji türlerine dönüştürmenin kolay olması ve temiz bir enerji kaynağı olması nedeniyle tercih edilen ve gereksinim duyulan bir enerji kaynağıdır. Ancak, kullanılırken kalite açısından etkili olması da önemlidir. Teknolojinin son yıllarda hızla gelişmesi, güç elektroniği elemanlarının kullanımının artmasına neden olmuştur. Güç elektroniği elemanlarının kullanımı, güç kalitesi problemlerinin (harmonik, titreşim, güç faktörü akım ve gerilim dengesizliği vb.) artmasına yol açmaktadır. Elektrik enerjisi kalitesinin artırılması için ilk adım, bozucu etkilerin ve kaynaklarının belirlenmesidir. Bu da sürekli ve doğru bir enerji kalitesi analizi ve görüntülenmesi ile mümkündür.

Bu amaçla, Yalova Üniversitesi'ne ait bir eğitim binasının enerji kalitesi Fluke 435-II enerji analizör cihazı ile haftalık ölçülmüş ve enerji analizinde değerlendirilen başlıca enerji bileşenleri; akım, gerilim, akım ve gerilime ait toplam harmonikler, aktif ve reaktif güç değerleri, güç faktörü, haftalık enerji tüketimleri ve kayıpları ile titreşim (flikler) olarak ele alınmıştır. Yapılan analizler sonucunda, hafta içi ve hafta sonu olmak üzere yüklerin şebeke üzerinde oluşturduğu sorunlar tespit edilmiş ve çözüm önerileri sunulmuştur. Enerji kalitesini belirleyen bileşenlerin analizi yapılırken binalarda hangi zaman aralıklarında enerji kullanımının olduğu, binaların yük profilinin değişim zamanı, yük tiplerinin neler olduğu hakkında bilgiler aktarılmış ve ölçme yönetmeliği ve standartları referans alınarak ölçüm sonuçları kıyaslanmıştır. Elektrik enerjisinin belirli zaman aralıklarında yoğun kullanıldığı ve bazı zaman aralıklarında ani değişimler yaşandığı gözlenmiştir. Bu değişimlerin kaynağı ve enerji kalitesine etkisi üzerine bulgular tespit edilmiş ve çözüm önerileri sunulmuştur.

*Anahtar Kelimeler – Elektrik Enerjisi, Enerji Kalitesi, Enerji Verimliliği, Enerji Analizi, Sürdürülebilirlik*

### **I. GİRİŞ**

Günümüzde, enerji verimliliği ve sürdürülebilirlik önemli küresel konular haline gelmiştir. Çevresel sorunlar, enerji kaynaklarının tükenmesi ve artan enerji maliyetleri, enerji verimliliği ve sürdürülebilirliğin önemini artırmaktadır. Bu nedenle, enerji tüketimini azaltmak, enerji kaynaklarını daha etkili bir şekilde kullanmak ve enerji verimliliğini artırmak, binaların tasarımı ve işletmesi için önemli bir konu haline gelmiştir [1].

Kamu binaları, genellikle toplumun çeşitli kesimlerinin yararlandığı, önemli bir kamu hizmeti sunan yerlerdir. Bu nedenle, kamu binalarında enerji verimliliği ve sürdürülebilirliğin sağlanması hem ekonomik açıdan hem de toplumsal açıdan önemli bir etkiye sahiptir.

Enerji verimliliği ve sürdürülebilirliğin yanı sıra elverişsiz enerji kalitesi, özellikle binalarda yaygın bir sorundur ve bu sorun, işlevselliği, güvenilirliği, ömrü, bakım maliyetlerini ve enerji verimliliğini etkiler. Bu nedenle, enerji kalitesi analizleri ve iyileştirmeleri, binaların sürdürülebilirliği açısından

önemli bir faktördür. Kamu eğitim binaları özellikle öğrencilerin ve personelin yoğun olarak kullandığı alanlar olduğundan, bu tür binaların enerji kalitesi sorunları, sağlık ve güvenlik risklerini de beraberinde getirebilir [2].

Son zamanlarda, güç elektroniği esaslı yarı iletken teknolojisine sahip devre elemanlarının, (klimalar, elektronik balastlı lambalar, hız kontrol cihazları, kesintisiz güç kaynakları vb.) evde, endüstride, sanayide ve kamu binalarında kullanımının artması, güç kalitesi parametrelerinin daha fazla gündeme gelmesine sebep olmaktadır [3]. Elektrik enerjisinin kalitesi; enerjinin sürekliliği, frekans ve gerilimin sabitliği, fazların dengeli olması, güç faktörünün (güç katsayısı) bir'e yakınlığı, gerilim ve akım harmoniklerinin, dengesizliğinin ve fliker değerlerinin belirli sınırlarda kalması gibi durumların göz önünde bulundurulması olarak tanımlanabilir. Bu parametreler içinde güç faktörü ve kompanzasyon, harmonikler, fliker, akım ve gerilim dengesizliği önemli bir yere sahiptir. Güç faktörü, kompanzasyon yöntemi ile istenilen değerlerde ulaşmadığında kablolar üzerinde gereksiz reaktif enerji taşınmasına yol açmakta ve enerji verimsizliğine sebebiyet vermektedir [4]. Harmonikler, şebeke tam sinüs dalga şeklini bozmakla kalmayıp, trafo, motor ve kabloların aşırı ısınmalarına, kondansatör gibi di-elektrik malzemelerde hasarlara, verimsizliğe, kayıplara ve kullanım ömürlerinin azalmasına sebep olabilmektedirler. Bununla birlikte, motorlarda aşırı ısınma, gürültülü çalışma ve mekanik streslere yol açabilmektedirler [5]. Akım ve gerilim dengesizliği ise; Gerilim ve akım dengesizliği, üç fazlı elektrik motorlarında stator sargılarında yüksek dengesiz akımlara, bu da aşırı ısınmaya ve motor kullanım ömrünün azalmasına neden olur. Fliker, lambalarda besleme gerilimi değişimlerinden kaynaklanan ışık dalgalanmalarını ölçer, fliker değeri standart değerlerin üstünde olduğunda insanlarda (baş ağrısı, baş dönmesi, migrenin tetiklenmesi, mide bulantısı vb.) sağlık sorunlarının oluşmasına yol açabilmektedir [6].

Yukarıda bahsedilen güç kalitesi sorunlarından dolayı, enerji kalitesi problemi hem elektrik güç sistemleri hem de ulusal ekonomi için bir tehdit oluşturmaktadır. Enerji kalitesi sorunlarının çözülmesi, binaların işletme maliyetlerini düşürmek ve elektriksel güvenliği sağlamak için hayati önem taşımaktadır. Bu hususta, dağıtım şirketlerinin özelleştirilmesiyle birlikte 2008 yılında son haliyle

yürürlüğe giren “Elektrik Piyasasında Dağıtım Sisteminde Sunulan Elektrik Enerjisinin Tedarik Sürekliliği, Ticari ve Teknik Kalitesi Hakkında Yönetmelik” güç kalitesi sorunlarından bazılarını yönetmeliklerle kontrol altına almaktadır [7]. Fakat enerji kalitesi açısından yeterli olmayıp özellikle uluslararası güç kalite standartları bulunan harmonikler için herhangi bir yasal limit ve yaptırım söz konusu değildir. Ayrıca reaktif güç tüketimi ile ilgili yasal limitlerin 2008'den sonra endüktif/reaktif gücün aktif güce oranı %20'den %15'e, kapasitif/reaktif gücün aktif güce oranı da %15'ten %10'a düşürülmesi planının Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu tarafından devreye alınması enerji verimliliğine daha çok katkı sağlayacaktır. Bu çalışmada, Yalova Üniversitesi İslami İlimler Fakültesi Eğitim binasının 25.03.2022- 01.04.2022 tarihleri arasında enerji kalitesi analizi yapılmış ve bu analiz sonucunda elde edilen bulgulara dayanarak binanın enerji verimliliğini ve kalitesini arttırmak için öneriler sunulmuştur. Bu çalışmanın sonuçları, enerji kalitesi sorunlarına dikkat çekmekte ve kamu eğitim binalarının enerji kalitesi analizleri ve iyileştirmelerinin önemini vurgulamaktadır. Ayrıca, bu çalışma, kamu eğitim binalarının enerji verimliliğini arttırmak için uygulanabilecek pratik öneriler sunmaktadır. Bu önerilerin uygulanması, hem binaların enerji kalitesi sorunlarını azaltacak hem de enerji tasarrufu sağlayarak sürdürülebilir bir geleceğe katkıda bulunacaktır.

## II. GÜÇ KALİTESİ YÖNETMELİKLERİ VE ÖLÇME STANDARTLARI

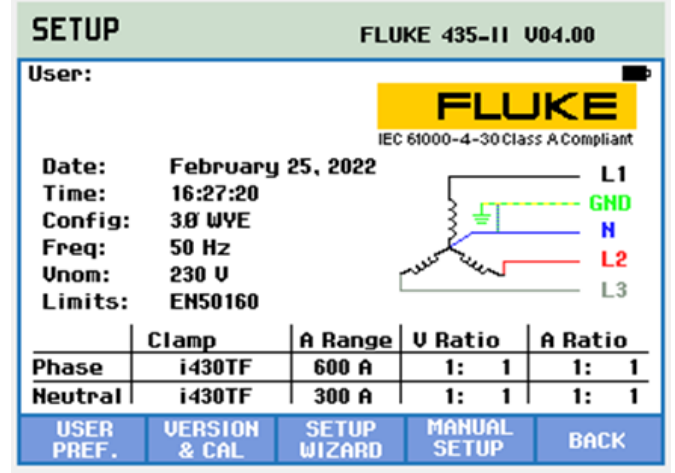
Kullanılan ölçüm yöntemleri IEC61000-4-30 2. sürüm sınıf A kriterine göre orta ve alçak gerilim dağıtım şebekeleri için güç kalitesi limitlerinin belirlendiği en önemli standart olup EN50160 olarak adlandırılır ve pek çok ülkede çevirileri yapılarak kullanılmakta ve ulusal yönetmeliklere temel teşkil etmektedir. EN50160, dağıtım şirketleri tarafından sağlanan elektrik enerjisinin gerilim kalitesini tanımlanmakta ve bu şirketlerin müşterilerine karşı sorumluluklarını ortaya koymaktadır. EN50160, ülkemizde kullanılan ve 2008 yılında son hali çıkarılan “Elektrik Piyasasında Dağıtım Sisteminde Sunulan Elektrik Enerjisinin Tedarik Sürekliliği, Ticari ve Teknik Kalitesi Hakkında Yönetmelik” adlı yönetmeliğe esas teşkil etmektedir. EN50160, müşteri ile tüketici arasındaki durumu kontrol altına alarak sınırları

belirlemektedir [8]. Aynı zamanda IEC 61000-4-7 standarttı, güç kalitesi olaylarının en çok rastlanan türü olan harmoniği, doğrusal olmayan yüklerden dolayı bozulmaya uğramış bir alternatif akım veya gerilimde ana bileşen frekansının tam katları frekanslarda oluşan sinüzoidal bileşenlerin her biri olarak tanımlamıştır.

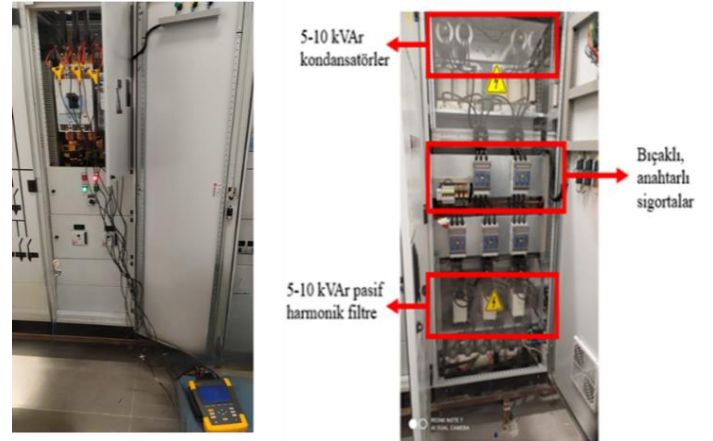
Fliker, yükteki dalgalanmalar nedeniyle ortaya çıkan ve aydınlatma armatürlerinde kırışıma yol açan 50 Hz. altındaki gerilim salınımları olarak adlandırılmaktadır. Kırışıma için kısa ve uzun dönemli olmak üzere iki adet indeks vardır. Bunlar sırasıyla Pst ve Plt indeksleridir. Bu İndeksler EN15160 standardında tanımlanmaktadır [9].

### III. MATERYAL VE YÖNTEM

Binanın ölçümü Fluke 435-II güç analizör cihazıyla yapılmıştır. Bu analizör cihazı güç dağıtım sistemlerinin yönetimi için kapsamlı ve etkili ölçüm araçları sağlamakla beraber, genel güç sistem performansı hakkında genel bir fikir edinmemize yardımcı olmakta, aynı zamanda yüksek çözünürlükte geniş bellek kapasitesiyle birden fazla değer kaydedilmesini sağlamaktadır [9]. Başlıca ölçüm parametreleri; fazlara ait akım ve gerilim, frekans, harmonikler, titreşim, dengesizlik, enerji kaybı, zirve faktörü, güç inverter verimi, vb. olayları ölçmede kullanılmaktadır. Bu çalışmada analizör cihazının ölçme ayarları üç faz-nötr-toprak bağlantılı ölçüm standarttı EN50160, faz akım en yüksek değeri 600 amper, nötr akım en yüksek değeri 300 amper olarak ayarlanmış ve Şekil-1'de gösterilmiştir. Analizler için akım, gerilim, güç, harmonik, akım ve gerilim dengesizliği, titreşim, enerji ve enerji kaybı bileşenleri kullanılmıştır. Yalova Üniversitesi İslami İlimler Fakülte binasının ölçümleri 25.03.2022- 01.04.2022 tarihleri arasında Şekil-2'de gösterilen ana dağıtım panosunun giriş termik manyetik şalterinden prob bağlantıları yapılarak kayıt altına alınmıştır.



Şekil 1. Fluke 435-II Enerji Analizör Cihazı Ölçme ve Bağlantı Bilgileri

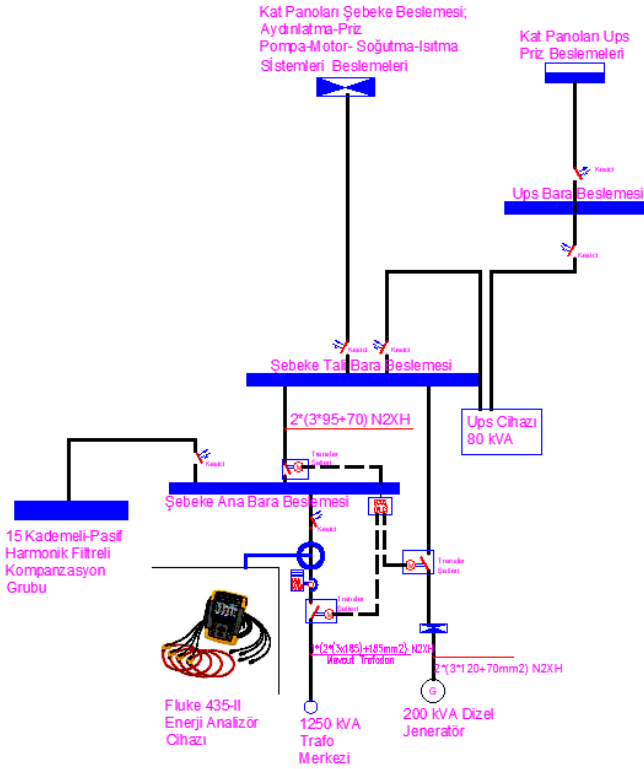


Şekil 2. a-) Ana pano ölçüm noktası b-) Kompanzasyon panosu

Binaya ait kompanzasyon panosu Şekil-2(b)'de gösterilmiştir. Pano içerisinde koruma amaçlı bıçaklı sigorta, pasif harmonik filtre ve kondansatör grupları mevcuttur. Pano içerisinde şönt reaktör bulunmamaktadır.

Binanın ana şebeke, tali şebeke, kesintisiz güç kaynağı ve kompanzasyon bara gösterimine ait tek hat şeması Şekil-3'te gösterilmiştir. Binanın kurulu gücü 876 kVA' dır. Tek hat şemasında görüleceği üzere 80 kVA kesintisiz güç kaynağı, 220 kVA ikincil enerji kaynağı dizel jeneratör, şebeke barası, ups barası ve kompanzasyon baralarına ait görsel verilmiş olup detay olarak şebeke barasında; 16 adet değişken soğutuculu akışkan debili (VRF) inverterli klima santrali, 11 adet 1,5-2,5 kW'lık sirkülasyon pompası, 2 adet 2,5 kW'lık hidrofor pompa-motoru, 6 adet endüstriyel kombi, 913 adet 36W LED panel armatür, 195 adet 15W LED downlight armatür, 12

adet 200W çevre aydınlatma LED projektör, içecek ve yiyecek otomat cihazları ile kesintisiz güç kaynağından ait prizlere bağlı bilgisayar, yazıcı, projeksiyon cihazı, acil anons ses sistemi, yangın ihbar ve algılama sistemi, bilgi işlem internet-telefon ve kamera poe switch'ler, vb. yüklerden oluşmaktadır. Alçak gerilim şebeke tarafı trafonun yıldız noktası ile koruma topraklamasının ayrı ayrı yapıldığı birbirlerine etkisinin olmadığı TT tipi şebeke sistem yapısındadır.



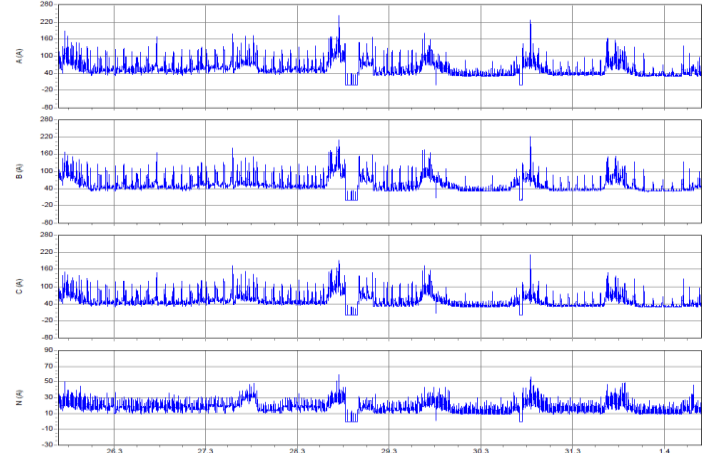
Şekil 3. Binaya ait tek hat şeması

#### IV. BULGULAR

Binanın güç analizi ve enerji kalitesi ölçümleri altı bileşen üzerinden değerlendirilmiş ve her bir bileşene ait zamana bağlı değişim grafikleri verilerek ölçümlere ait bulgular tespit edilmiştir.

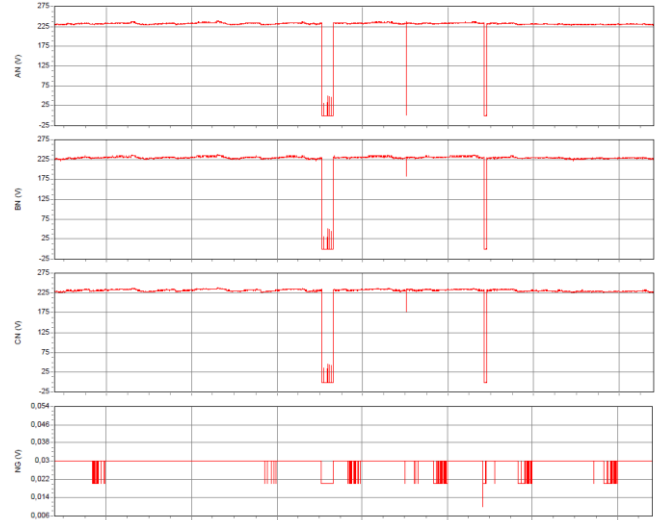
##### A. Akım ve Gerilime ait Ölçüm Değerleri

Binanın enerji kalitesine ait akım bileşeni analizinde mesai saatlerinde yük kullanımının artmasıyla akım değerlerinde artış yaşandığı, mesai saati dışında kalan zaman dilimlerinde akım değerlerinde azalma yaşandığı Şekil-4'te gösterilmiştir. Fazlara ait akımların vektörel toplamları sıfıra eşit olmadığı dolayısıyla nötr hattı üzerinden hafta sonu ve hafta içi zamanlarda ortalama olarak 18 amper akım geçişi yaşandığı görülmektedir.



Şekil 4. Binaya ait üç faz ve nötr hattının zamana bağlı akım değişim grafiği

Gerilim değerlerinin faz-nötr ve nötr-toprak arası ölçümü yapılmış olup zamana bağlı değişim grafiği Şekil-5'te gösterilmiştir. Ölçümler esnasında üç defa enerji kesintisi yaşandığı grafik üzerinden anlaşılmaktadır. Mesai saatlerinde yük kullanımının arttığı ve akım değerinde artış olmasına rağmen gerilim düşümü yaşanmadığı ve ani gerilim dalgalanmalarının olmadığı ve gerilim değerlerinin kabul görülen standart değerlerde olduğu görülmüştür. Bunun yanında nötr-toprak arası gerilim değerleri incelenmiş, nötr-toprak arası gerilim değerinin ( $V_N-G_{max} \leq 2$  Volt) altında olduğu görülmüştür.

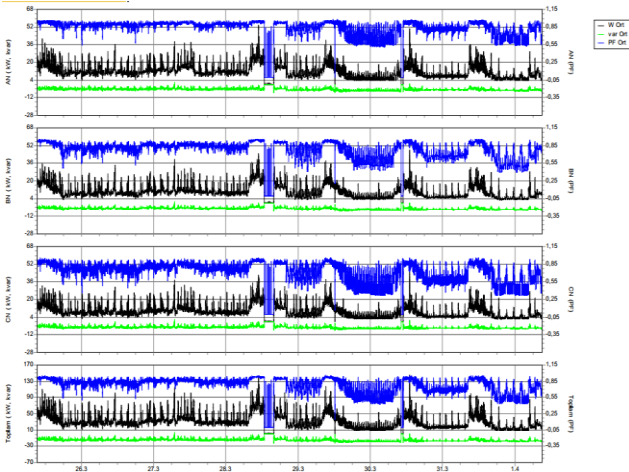


Şekil 5. Binaya ait üç faz ve nötr hattının zamana bağlı gerilim değişim grafiği

##### B. Aktif, Reaktif Güç ve Güç Faktörüne ait Ölçüm Değerleri

Güç ve kompozisyon açısından ölçüm sonuçlarının analizi için aktif ve reaktif güç ile güç faktörünün zamana göre değişim grafiği Şekil-6'da

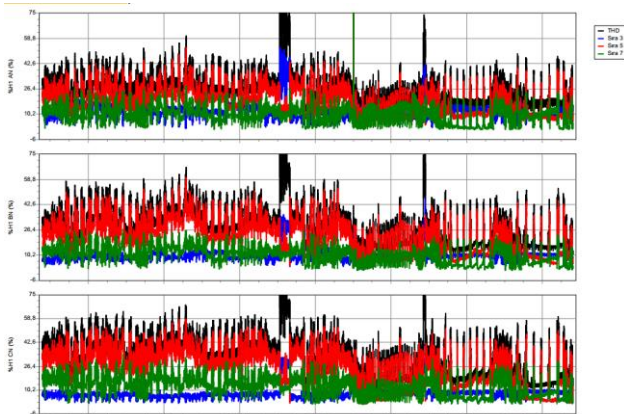
belirtilmiş ve aktif güç siyah, reaktif güç yeşil ve güç faktörü mavi renk ile gösterilmiştir. Güç faktörünün hafta sonu zaman dilimlerinde  $0,75 \leq PF \leq 0,85$  değerinde olduğu mesai saatlerinde endüktif/reaktif yük kullanımının artmasıyla  $0,85 \leq PF \leq 0,90$  değerine çıktığı gözlemlenmiştir. Hafta içi mesai saati dışında kalan zaman dilimlerinde ise  $0,55 \leq PF \leq 0,80$  değerinde seyrettiği görülmüştür. Binanın güç faktörü değerinin standart seviyenin ( $PF \leq 0,95-1$ ) altında kaldığı görülmüş ve enerji verimliliğine olumsuz etki yaptığı anlaşılmıştır.



Şekil 6. Binaya ait aktif güç, reaktif güç ve güç faktörünün zamana bağlı değişim grafiği

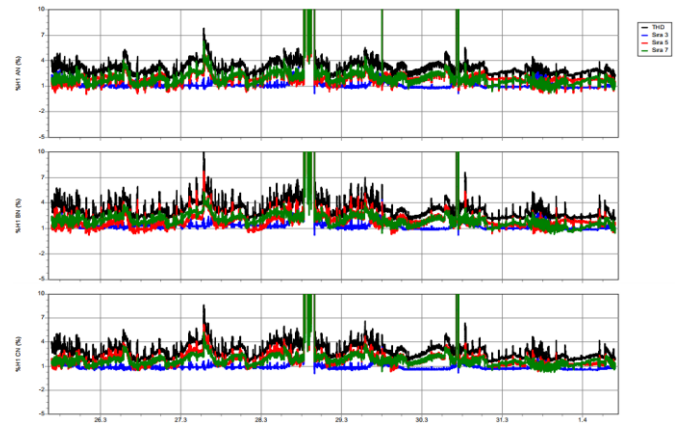
### C. Akım ve Gerilim Harmoniklerine ait Ölçüm Değerleri

Harmonikler açısından bakıldığında toplam akım harmonik distorsiyonu, 3., 5. ve 7. mertebe harmoniklerin zaman çizelge grafiği Şekil-7'de gösterilmiştir. Toplam akım harmonik ortalama değerinin hafta içi ve hafta sonu zaman dilimlerinde ani değişimlere maruz kaldığı ve toplam harmoniğin  $25 \leq THDa \leq 45$  civarında seyrettiği ve standart değerlerin ( $THDa \leq 20$ ) çok üzerinde olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 7. Binaya ait her bir fazın akım harmoniğinin zamana bağlı değişim grafiği

Toplam gerilim harmonik distorsiyonu ile 3., 5. ve 7. mertebe harmoniklerin zaman çizelge grafiği Şekil-8'de gösterilmiştir. Gerilim harmonik distorsiyon değerinin hafta sonu ve hafta içi ani değişimlere maruz kaldığı ve toplam gerilim harmoniğinin  $3 \leq THDv \leq 7$  değeri arasında değişim gösterdiği ve standart değer bazında bazı zamanlarda ( $THDv \leq 5$ ) aşıldığı gözlemlenmiştir.



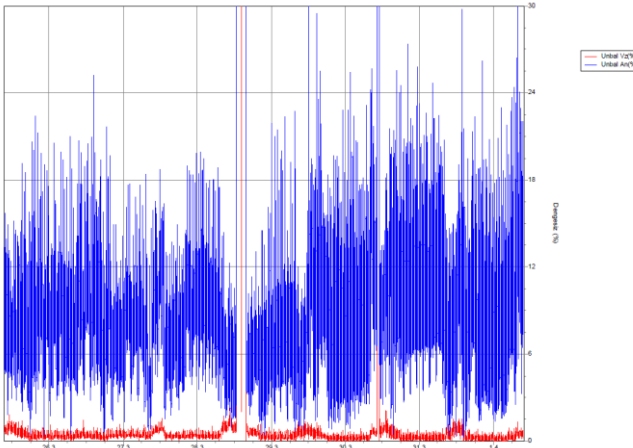
Şekil 8. Binaya ait her bir fazın gerilim harmoniğinin zamana bağlı değişim grafiği

Binanın kompanzasyon panosunda pasif harmonik filtreler olmasına rağmen gerilim ve akım harmonik değerlerinin aşılmasının temel nedenleri sonuçlar kısmında belirtilmiştir.

### D. Akım ve Gerilim Dengesizliğine ait Ölçüm Değerleri

Gerilim dengesizliği açısından enerji kalitesi incelendiğinde Şekil-9'da zamana bağlı akım ve gerilim değişim grafiği gösterilmiştir. Ortalama gerilim dengesizliği ( $V_z$ ) %1,5 değerinde olup standart eşik değerin ( $V_{zmax}$ : %2) altında olduğu ve gerilim dengesizliği yönünden enerji kalitesinin iyi olduğu tespit edilmiştir. Akım dengesizliği açısından bakıldığında ortalama  $An\%$  oranı %14 olarak ölçülmüş ve standart eşik değeri ( $An_{max}$ : %10) aştığı görülmüştür. Akım dengesizliğinin önlenmesi için tek fazlı alıcıların fazlara eşit bir şekilde dağılımı yapılması gerekmektedir. Aksi halde akım dengesizliğinden dolayı nötr hattı üzerinden akım geçişi olacak ve akım dengesizliğinin kontrol altında tutulmaması durumunda daha fazla artış yaşanacak bu da fazlar üzerindeki gerilim düşümlerine neden olacak ve gerilim dengesizliğini ortaya çıkararak, motor stator

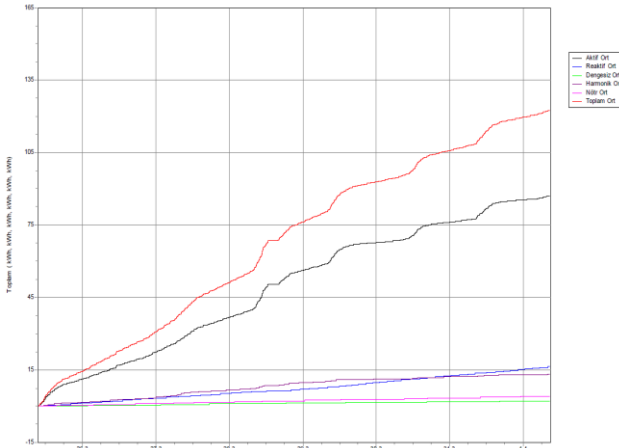
sargılarında yüksek dengesiz akımlara, bu da aşırı ısınmalara ve motor kullanım ömrünün azalmasına ve enerji kayıplarına neden olacağı düşünülmektedir.



Şekil 9. Binaya ait akım ve gerilim dengesizliğinin (An%-Vz%) zamana bağlı değişim grafiği

#### E. Enerji Kaybına ait Ölçüm Değerleri

Enerji kalitesinin artırılması enerji kaybının önlenmesini sağlayacağından ölçüm sonuçlarında enerji kaybının neler olduğu ve yıl bazında enerji kayıp maliyetinin ne kadar olduğu hakkında bilgilere ulaşılmıştır. Şekil 10'da enerji kaybının zamana bağlı değişim grafiği gösterilmiştir.



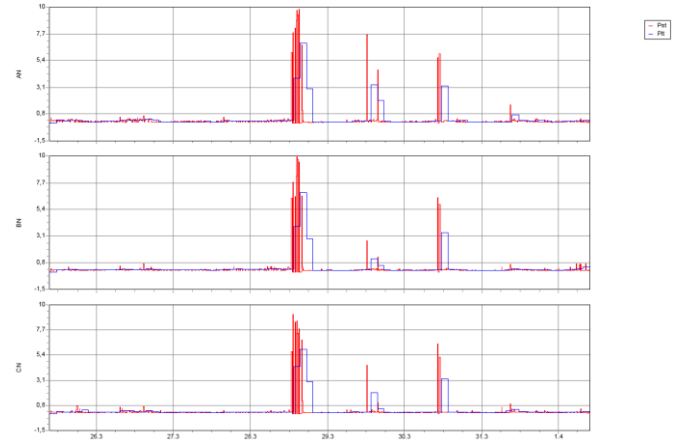
Şekil 10. Binaya ait enerji kaybının zamana bağlı değişim grafiği

Bina, enerji kaybı açısından 5 bileşen olarak incelenmiş olup bunlar sırasıyla; aktif, reaktif, harmonik, dengesizlik ve nötr kayıplardır. Ölçüm cihazı, aktif güç kullanımından kaynaklı kaybı, hat direncinin %3'lük bir tahmini kayıp oranını otomatik olarak hesaplar. Reaktif kaybı, reaktif güç kullanımı sonucu reaktif sistem akımının oluşmasıyla hat gücü kaybını, harmonik kayıp harmoniklerin oluşturduğu sistem akımı ile harmonik artık güçten kaynaklanan hat gücü

kaybını, Dengesizlik kaybı, dengesizlik sistem akımı ve dengesizlik artık gücünden kaynaklanan hat gücü kaybını, Nötr kaybı, nötr hattı üzerinden geçen akımdan kaynaklanan hat gücü kayıplarına ait verileri kullanarak hesaplamaktadır [9]. Veriler ölçüm sonuçlarına göre haftalık toplam enerji kaybı 120 kWh olup aktif enerji kaybı 85 kWh olarak hesap edilmiştir. 35 kWh'lik enerji kaybını sırasıyla reaktif, harmonik, nötr ve dengesizlik kayıpları oluşturmuştur. Enerji kaybına ait toplam maliyet sonuçlar kısmında belirtilmiştir. Enerji kayıp eğrisi hafta içi mesai saatlerinde güç kullanımının artmasıyla dik yönde, mesai saati dışındaki zamanlarda biraz daha yatay yönde seyretmiştir.

#### F. Fliker'a ait Ölçüm Değerleri

Fliker ölçümünde sadece gerilim sinyali işlenip gerilim ile ilgili iniş ve çıkışlar yaşandığından dolayı fliker etkisine yükün ve şebekenin ne oranda neden olduğu belirlenir. Binaların enerji kalitesi, titreşim (fliker) açısından değerlendirildiğinde, ölçümler kısa dönem fliker için uyumluluk seviyesi (Pst) 0,8, uzun dönem fliker için uyumluluk seviyesi (Plt) 1, kriterine göre yapılmıştır.



Şekil 11. Binaya ait fliker'in (Pst, Plt) zamana bağlı değişim grafiği

Fliker değerleri Şekil-11'de gösterilmiş olup alıcıların dereye girmesiyle çekilen akım artışından dolayı hat gerilimlerinde meydana gelen değişimle fliker değerlerinde artış yaşandığı görülse de hafta içi ve hafta sonu zaman aralığında standart değerlerin altında olduğu görülmüştür. Şekil 11'de görülen yüksek değerler enerji kesintisi kaynaklı değerlerdir ve değerlendirmeye alınmamalıdır.

#### V. TARTIŞMA

Yapılan analizler sonucunda; eğitim binasında 08:30-17:30 zaman aralıklarında yük kullanımının artmasıyla çekilen akım değerindeki artışın gerilim

düşümünde az da olsa düşüşe neden olduğu gözlenmiş olsa da enerji kalitesine engel teşkil etmediği görülmüştür.

Güç ve güç faktörü açısından bakıldığında mesai saatleri içerisinde aktif güç kullanımı artış gösterdiğinde reaktif gücün az da olsa kapasitif özellikten endüktif özelliğe doğru geçtiği ve bu geçişin sirkülasyon motorları ve hidrofor motorlarından kaynaklandığı düşünülmektedir. Reaktif güç karakteristiği bina yük profilinden dolayı kapasitif özellikte olduğu ve kapasitif/reaktif güç tüketiminin, 80 kVA gücünde kesintisiz güç kaynağı, elektronik sürücülü led panel, led projektör ve led downlight armatürler tarafından olduğu ölçüm sonuçlarından anlaşılmaktadır. Yapılan ölçümde reaktif güç karakteristiğinin kapasitif/reaktif özellikte sonuç vermesine rağmen kompanzasyon panosunda sadece kondansatör gruplarının olduğu, şönt reaktörlerin olmadığı görülmüştür. Bu da kompanzasyon panosunun hiç çalışmadığı ve aynı şekilde endüktif yükü kompanze etmek için kurulmuş olan panoya bağlı harmonik sönümleyici şönt reaktörlerinin de devreye girmediği gerçeği ortaya çıkmaktadır.

Harmonikler açısından bakıldığında akım harmonik değerinin hafta içi ve hafta sonu zaman dilimlerinde kabul edilen sınır değeri ( $THD_a \leq 20$ ) aştığı tespit edilmiştir. Akım harmoniğinin önemli bir sorun teşkil ettiği ve enerji kalitesini olumsuz etkilediği düşünülmektedir. Gerilim harmoniğinin ise hafta içi ve hafta sonu zamanlarda saat 8:30-9:00 aralığında ısıtma sistemine bağlı frekans inverterli sirkülasyon pompalarının devreye girmesiyle kabul görülen sınır değeri ( $THD_v \leq 5$ ) aştığı görülmüştür. Diğer zaman dilimlerinde ise gerilim harmonik seviyesi standart sınır değeri aşmadığı görülmektedir. Gerilim harmonikleri binada yaygın olarak kullanılan motorlar, güç kaynakları, lambalar ve diğer elektrikli cihazlarda sorunlara neden olabilir. Başlıca bu sorunlar; Bobin yapıları cihazlarda gürültü, ısınma, güç kaybına neden olurken, güç kaynakları, elektronik kartlar gibi yarı iletken teknolojiye sahip diğer cihazlarda elektro manyetik uyumluluk sorunlarına neden olup cihazların işlevselliğini olumsuz etkileyebilmektedir [10]. Akım ve gerilim harmonik oluşumuna en fazla 3., 5., ve 7. mertebe harmoniklerin etki ettiği görülmektedir. Şekil 7 ve 8' deki zamana bağlı değişim grafiğinde binada yaşanan elektrik kesintilerinde temel frekanstaki devreden geçen

akımın ya da devreye uygulanan gerilimin etkin değerinin sıfır olmasından dolayı harmoniklerin zirve yaptığı da görülmüştür.

Akım ve gerilim dengesizliği analizi sonucunda, akım dengesizliğinin mesai saatlerinde yük kullanımının artmasıyla standart sınır değerini ( $\%A_n \leq 10$ ) altına düşüğü ve bu düşüşün üç fazlı alıcıların (hidrofor motorları, Vrf klima santrali) devreye girmesiyle çekilen ortalama akımın artmasına bağlı olduğu düşünülmektedir. Fakat diğer zaman dilimlerinde akım dengesizliğinde artış gözlemlendiği ve standart sınır değeri aştığı görülmüştür. Gerilim dengesizliği ise mesai saati başlangıcında yük kullanımının artmasıyla (çekilen akım artışı ile) artış gösterse de standart sınır değeri ( $\%V_z \leq 2$ ) altında seyretmiştir. Ölçüm sonucuna göre gerilim dengesizliği, enerji kalitesine herhangi bir sorun teşkil etmemektedir.

Enerji kaybı analizinde binanın haftalık toplam kayıp enerjisi 120 kWh olup bunun büyük bir kısmı aktif enerji kullanımından kaynaklanmaktadır. Enerji birim fiyat maliyetlerinin her geçen zaman arttığı varsayılırsa yıl bazında enerji kaybından dolayı ciddi bir maliyet oluşmaktadır.

Fliker değerlerinin analizinde kısa dönem (Pst) uyumluluk ve uzun dönem (Plt) uyumluluk seviyelerinin enerji kalitesi açısından uygun olduğu görülmüştür. Ayrıca zamana bağlı değişim grafiğinde, fliker değerleri ölçümler esnasında üç kez yaşanan enerji kesintisinden dolayı zirve yaptığı gözlemlenmiştir.

## VI. SONUÇLAR

Yapılan bu çalışma ile Yalova Üniversitesi İslami İlimler Fakülte binasındaki tüm elektrikli alıcıları besleyen ana dağıtım panosundan 25.03.2022 ile 01.04.2022 tarihleri arasında kayıt altına alınan akım, gerilim, güç, güç faktörü, harmonikler, dengesizlik, enerji kaybı ve fliker değerleri incelenmiştir.

Binanın ölçülen akım ve gerilim değerlerinin analizinde nötr hattı üzerinden akan akım değerinin mesai saatlerinde 55 amper değerlerine ulaştığı diğer zamanlarda ortalama olarak 25 amper olduğu görülmüş ve dengesiz bir yük profiline sahip olduğu anlaşılmıştır. Nötr hattından akan akımın azaltılabilmesi için tek fazlı alıcıların fazlara dengeli bir şekilde bağlantılarının yapılması gerekmektedir. Her ne kadar elektrik hattı kurulumu

yapılırken proje üzerinde dengeli bir şekilde dağılım söz konusu olsa da montaj ekibinin yeterince denetlenmemesi ve en önemlisi sonradan eklenen cihazların faz ayırımı yapılmadan en yakın hatta bağlanması sonucu dengesizlik miktarları günden güne artış göstermektedir.

Aktif, reaktif ve güç faktörü analizi sonucunda binanın yük karakteristiği kapasitif/reaktif özellikte olduğu ölçüm sonuçlarından anlaşılmaktadır. Yük profilinin kapasitif özellikte olmasından dolayı kompanzasyon panosundaki kondansatör bloklarının devreye girmediği ve güç faktöründe iyileştirme yapılması gerekliliği ortaya çıkmıştır. Güç faktörünün düzeltilmesi için kompanzasyon panosuna ölçümlerin istatistiksel verilerinden faydalanarak ideal güçlerde tek fazlı ve üç fazlı şönt reaktörlerin reaktif güç kontrol rölesine tanıtılarak kompanzasyon panosunda montajının yapılması gerekmektedir. Ayrıca kompanzasyon panosundaki üç fazlı kondansatör bloklarının güç kapasitelerinin düşürülerek kapasitif güç gereksiniminde devreye girmesi sağlanmalıdır. Fazlar arasında güç faktörü değerindeki farklılık için tek fazlı kondansatör bloklarının montajının yapılması gerekmektedir.

Akım ve gerilim harmonik analiz sonucunda ölçüm değerlerinin özellikle akım harmoniği açısından enerji kalitesine olumsuz etki edeceği düşünülmektedir. Gerilim harmonik değeri ise standart değeri aştığı zamanlarda tehlike arz edecektir. Binada harmoniklerin oluşturacağı başlıca hasarlar; transformatörün, iletkenlerin ve motorların aşırı ısınmasına, devre kesicilerin (sigorta, termik manyetik şalter, kaçak akım rölesi) ansızın açması, yarı iletken teknolojilerine sahip cihazların kullanım ömürlerinin azalması ve arızalanması, kompanzasyon panosunda bulunan kondansatörlerin aşırı gerilime maruz kalacağından dolayı delinmesi gibi çeşitli sorunlar gösterilebilir. Ölçümler sonucunda Üniversitenin bakım-onarım ekibi ile yapılan görüşmelerde binada oluşan arızalar hakkında fikir alışverişi yapılmış ve hidrofor motorlarının sargı yanığından dolayı birkaç defa değişimin gerçekleştiği, klima sistemine ait haberleşme kartının ve dış ünite fan motorunun da arızalanıp değişiminin yapıldığı bilgilerine ulaşılmıştır. Sonuç olarak harmoniklerin sönümlenmesi için kompanzasyon panosunda yer alan kondansatörlere seri bağlı pasif filtre sisteminin kapasitif yük profilinden dolayı devreye girmediği için filtreleme işlevi görmediği tespit edilmiştir.

Kompanzasyon panosuna şönt reaktör montajı yapılarak endüktif özellikli yük profiline geçişin sağlanması ve mevcut kondansatör blokları ile pasif harmonik filtrelerin kapasitelerinin düşürülerek kompanzasyon panosunun devreye alınması gerekmektedir.

Akım ve gerilim dengesizliği analizinde, akım dengesizliğinin standart sınır değeri aştığı görülmekte ve akım dengesizliğinden dolayı nötr üzerinden akım geçişi olacak ve nötr iletkeninde ısınma ile enerji kaybına yol açacaktır. Akım dengesizliğinin önlenmesi için dengeli yük sisteminin oluşturulması özellikle de tek fazlı alıcıların sisteme dengeli bir şekilde dağıtılması gerekmektedir. Gerilim dengesizliğinin standart değerlere göre iyi seviyede olduğu görülmektedir.

Enerji kaybı ölçüm sonuçlarına göre haftalık toplam enerji kaybı 120 kWh olup aktif enerji kaybı 85 kWh, reaktif, harmonik, nötr ve dengesizlikten dolayı oluşan enerji kaybı 35 kWh olarak hesap edilmiştir. Enerjinin değeri ve verimliliğinin her geçen zaman önem kazandığı ve enerji fiyatlarının da sürekli arttığı bu dönemde binadaki enerji kayıpları da göz önüne alındığında ciddi bir kayıp enerjinin ortaya çıktığı görülmektedir. Yıl bazında enerji kaybı maliyeti: 56 hafta boyunca haftalık 120 kWh'lik kayıp enerji ve enerjinin birim fiyatı 4,50 TL baz alındığında 30.240,00 TL kayıp enerji maliyeti hesap edilmiştir. Binada enerji kalitesinin iyileştirilmesiyle enerji kayıplarının da önüne geçilerek enerji verimliliği ve tasarrufu sağlanmış olacaktır.

Enerji kalitesi titreşim (flicker) açısından değerlendirildiğinde flicker değerleri, standart değerlerin altında olduğu görülmüş ve binalarda çalışan personel ile öğrencilerin sağlıklı bir ortamda (baş ağrısı, baş dönmesi, migrenin tetiklenmesi, mide bulantısı vb.) sağlık sorunları oluşturmaktan çalışabilmelerini sağlayacak seviyede olduğu tespit edilmiştir.

Yapılan güç analiz ölçümleri, güç kalitesi ölçme yönetmelikleri ve ölçme standartlarına göre analiz sonuçları değerlendirilmiştir. Bu çalışma kamu eğitim binasında enerji kalitesinden kaynaklı kayıpları azaltmak, verimliliği arttırmak ve cihazlarda bakım-onarım maliyetlerini düşürmek için ölçme kalite standartlarına uyulması gerekliliğini ortaya koymaktadır. Standartlara uyulması, hem binaların enerji kalitesi sorunlarını azaltacak hem de enerji tasarrufu sağlayarak sürdürülebilir bir geleceğe katkıda bulunacaktır.



## TEŞEKKÜR

Bu çalışma Yalova Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir (2022/YL/0004).

## KAYNAKLAR

- [1] Soares, Nelson ve ark. "Yüksek öğretim binalarının enerji verimliliği: bir vaka çalışması." *International Journal of Sustainability in Higher Education* 16.5 (2015): 669-691.
- [2] Oktay, E., & Fındık, T. (2019). Türkiye’de Binalarda Enerji Verimliliği. *Akademik Mühendislik Araştırmaları Dergisi*, 4(1), 54-61.
- [3] Efe, S. B. (2006). Güç sistemlerinde harmonikler ve harmoniklerin analizi (Master's thesis).
- [4] Öztürk, H., Çağrı Çelebi, B., & Üstün, Ö. (2019). Elektrik Enerjisi Kalitesi ve Güç Faktörü İyileştirmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 34(4), 1583-1604. doi:10.17341/gazimmfd.502235
- [5] TEKİN, Mustafa, and Ahmet YILMAZ. "Güç Sistem Harmoniklerinin Ayrık Hartley Dönüşümü ile Analizi." *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi* 18.1 (2015): 1-8.
- [6] Dugan, Roger C., Mark F. McGranaghan, and H. Wayne Beaty. "Electrical power systems quality." *New York* (1996).
- [7] "Elektrik Piyasasında Dağıtım Sisteminde Sunulan Elektrik Enerjisinin Tedarik Sürekliliği, Ticari ve Teknik Kalitesi Hakkında Yönetmelik." (2008).
- [8] "Elektrik Güç Sistemlerinde Harmonik Bozulmaları ve Kontrolü," Ercan Özveren, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt 24, Sayı 4, 2018, ss. 207-214.
- [9] Fluke 435-II Energy Analyzer User Manual. (2015). Retrieved from <https://www.fluke.com/-/media/fluke/migration-assets/manuals/en/fluke-434-435-ii-manual-en.pdf>
- [10] KOCATEPE, C., Onar, Ö. Ç., Arıkan, O., & Uzunoğlu, M. (2005). Nonlineer Yükleri İçeren Enerji Sistemleri İçin Filtreli Reaktif Güç Kompanzasyonu ve Sistemin MATLAB & Simulink Modeli ile Simülasyonu. *Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu (EVK)*.