

SOKAK AYDINLATMALARINDA İSTENMEYEN KESİNTİLERİN VE KAYIPLARIN MAKİNE ÖĞRENMESİ YÖNTEMLERİ İLE ERKEN TESPİTİ

Ezgi BİNGÖL, M. Burak KURUTMAZ, A. Taylan CEMGİL, Sait ŞENER
ezgib@netas.com.tr, ssener@netas.com.tr, burak.kurutmaz@boun.edu.tr,
taylan.cemgil@boun.edu.tr

¹Netaş Telekomünikasyon A.Ş., 34912 Pendik, İstanbul, Türkiye

²Bilgisayar Mühendisliği Bölümü Boğaziçi Üniversitesi, 34342 Bebek, İstanbul, Türkiye

ÖZET

Sokak aydınlatmalarında zaman zaman istenmeyen kesintiler veya arıza kaynaklı enerji kayıpları olabilmektedir. Bu durumlardan erken haberdar olunabilmesi erken müdahale imkanı verecek ve buradan doğan zararların azaltılmasını sağlayacaktır. Akıllı sayaçlarla elektrik tüketim verisinin sık aralıklarla okunmasının getirdiği önemli faydalardan biri de böyle bir durumun verinin otomatik işlenmesi sırasında operasyonel bir maliyet olmadan fark edilebilmesidir. Ancak, böyle bir yöntemin verimliliğini artırmak için zaman zaman veri iletimindeki problemlerden kaynaklı oluşacak eksiklerin ve hataların da tolere edilmesi gereklidir. Bu durum da veri üzerinde eksik değerlerin tamamlanmasını gerektirmektedir. Bu çalışma ile makine öğrenmesi yöntemleri kullanılarak eksik verinin tamamlandığı, veri üzerindeki aykırı durumların tespit edildiği, tespit edilen aykırı durumların otomatik olarak zamansız tüketim, istenmeyen kesinti veya kayıp şeklinde yorumlanabildiği bir yöntem önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler : Akıllı Aydınlatmalar, smart lighting, anamolie detection, aykırı durum tespiti, eksik veri tamamlama, VEE (Validate-Estimate-Edit)

1. GİRİŞ

Sokak aydınlatmalarının günün uzunluğuna bağlı olarak belli saatlerde açılıp kapanmaları gerekmektedir. Sokak aydınlatmalarında, bu durumun düzenlenmesi için hali hazırda çalışan mekanizmalar bulunmaktadır. Ancak zaman zaman bu mekanizmaların çalışmadığı durumlar olabilmektedir ve sokak aydınlatmaları ya zamanından önce ya da olması gereken zamandan geç açılmaktadır. Aydınlatmaların kapanması da aynı şekilde gecikebilmekte ya da vaktinden önce gerçekleşebilmektedir. Bu durum zamanında fark edilmediğinde ya enerji israfına yol açmakta ya da sokakların karanlıkta kalmasına neden olmaktadır. Bununla birlikte, aydınlatmalar dış mekan

ekipmanları olduklarından olumsuz hava koşullarından etkilenecek sık arızaya geçebilmektedirler. Bu arızalar da zaman zaman enerjinin toprağa akmasına neden olmaktadır. Bu tarz kayıp vakalar da erken tespit edilmediklerinde maddi zarara yol açmaktadırlar.

Elektrik tüketim değerlerinin akıllı sayaçlarla uzaktan okunmasının başlaması ile birlikte elektrik tüketim verisi sık periyotlarda ve detaylı içerikle alınabilmektedir. Bu durum gerçek değerlerin faturalara yansımaları sağlarken ileriye dönük talep tahmini yapma ya da arızaları operasyonel yükü artırmadan erken tespit etme gibi konularda fırsatlar yaratmaktadır. [1][2][3][4][5][6] çalışmaları makine öğrenmesi yöntemlerinin talep

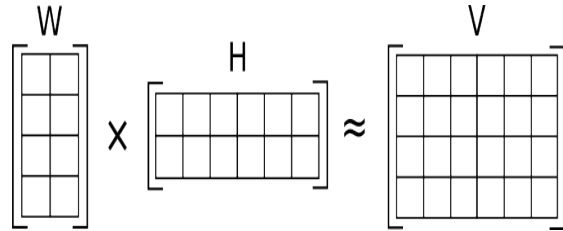
tahmini, eksik veri tahminlenmesi ve erken arıza tespiti de içine alacak şekilde kestirimci bakım (predictive maintenance) konularına uygulanmasını gerçekleştiren örneklerdir. [7] çalışmasında ise eksik verinin tamamlanmasının yanı sıra aykırı (anamolli içeren) noktalara dair bilgi veren bir çıktı da aynı anda üretilmektedir. Aykırı değerlerin elde edilmesi arıza, kayıp ve kaçak tespitinin erken yapılabilmesi için çok önemlidir. Özellikle bu sürecin otomatize edilmesi operasyonel yükün azaltılması ve iş akışının hızlanması konularında çok faydalı olmaktadır.

Bu çalışmada, aydınlatma elektrik tüketim verisi özelinde [7] çalışmasındaki gibi Negatif olmayan Matris Ayırışmaları kullanılarak elektrik tüketim verisi üzerinde enterpolasyon yapılmış, eksik veri tamamlanmış ve aykırı noktaları veren bir çıktı üretilmiştir. Bununla birlikte, bu çalışma özelinde aykırı durumlar analiz edilerek istenmeyen kesintilerin veya kayıpların tespiti sağlanmıştır. Aykırı durumlar ile kastedilen, aydınlatmaların açık kalması gereken saatlerde kapalı olmaları veya kapalı olması gereken saatlerde açık olmalarıdır. Bunun yanı sıra, aydınlatma tüketim değeri belli bir aralıkta salınmaktadır. Salınım aralığı için aydınlatma tüketim profili de denilebilir. Zaman içinde salınım aralığının değişmesi kayıp göstergesi olabilir. Elde edilen aykırı durumları gösteren çıktı üzerinden aydınlatma profiline de ulaşılabilir. Bu çalışmada, istatistiksel metodlarla aykırı durum çıktısının analizi ile kayıp ihtimali olan noktalar tespit edilmiştir. Gün içinde belli periyotlarla bahsedilen yöntem aydınlatma tüketim verilerine uygulandığında otomatik olarak sıkıntılı durumlar operasyona bildirilebilecektir. Böylece de, yukarıda bahsedildiği gibi erken müdahale imkanı sağlanacaktır.

Bildirinin devamında bu çalışmada kullanılan makine öğrenmesi yöntemlerinden Negatif Olmayan Matris Ayırışmalarından kısaca bahsedilecek ve her bir noktanın aykırı değer olma ihtimalini gösteren aykırı durumlar matrisinin istatistiksel metodlarla analizi detaylı olarak anlatılacaktır. Son olarak da, bu kapsamda yapılan deneyler sunulacak ve deneylerin sonuçları tartışılacaktır.

2. NEGATİF OLMAYAN MATRİS AYRIŞIMLARI İLE ENTERPOLASYON VE AYKIRI DURUM TESPİTİ

Negatif Olmayan Matris Ayırışmaları (NMF), genellikle bir matrisin iki tane matrisin çarpımı şeklinde yakınsanmaya çalışıldığı doğrusal cebir algoritmalarıdır. Bunlara Negatif Olmayan Matris Ayırışmaları denilmesinin sebebi matrislerinin pozitif elemanlardan oluşma kısıtlarından ileri gelmektedir.



Şekil 1 W: Ağırlık matrisi, H: Her güne ait saatlik değerler

Şekil 1.'de görüldüğü gibi; NMF yöntemini elektrik tüketim verisine uygularken, önce saatlik ve günlük tüketim profili (H) ile haftalık tüketim profilinin (W) çarpımını elde ettik. Sonra elde ettiğimiz profil çarpım sonucunu (profile product V) elektrik tüketim verisini karşılayacak şekilde matematiksel modelde kullandık. Burada profillerin matris çarpımı bize gerçek tüketime yakınsayan bir değer veriyor. Bu

şekilde elde ettiğimiz profil parametreleri ile de eksik veriler için tahminleme yapıyoruz. Bununla ilgili model aşağıdaki gibi de ifade edilebilir.

$$X_{w,d,h} \approx \dot{X}_{w,d,h} = \sum_r H_{d,h,r} B_{w,r}$$

w: hafta

d: haftanın bir günü

h: günün bir saati

r: saklı boyut

$X_{w,d,h}$: ölçüm değeri

$\dot{X}_{w,d,h}$: yaklaşık $X_{w,d,h}$

H: haftalık profil için taban değerler

B: taban elementler için katsayılar

$\dot{X}$ 'i X 'e yakınlaştırmak için eniyileme algoritması olarak Beta İraksayımı (β divergence) ve Çarpansal Gradyan İniş Algoritması (Multiplicative Gradient Descent) bu çalışmada kullanıldı. Böylece aşağıdaki gibi bir denklem elde edildi. Bu denklem de bir adımda A bir adımda da B sabit alınarak istenilen hassasiyete varılincaya kadar tekrarlı olarak çözüldü.

$$X \approx \dot{X} = \sum_{r=0}^n A(i,r)B(r,j)$$

Aykırı durumlar matrisini ise yukarıdaki denkleme S düzeltme değişkenini ekleyerek elde ediyoruz.

$$X \approx \dot{X} = \sum_{r=0}^n S A(i,r)B(r,j) + (S-1)A(i,r)B(r,j)$$

Negatif Olmayan Matris Ayırışimleri modelinin elektrik tüketim verisine

enterpolasyon yapmak ve aykırı noktaları tespit etmek üzere uygulanması ile ilgili [7] çalışmasından daha geniş bilgi edinilebilir.

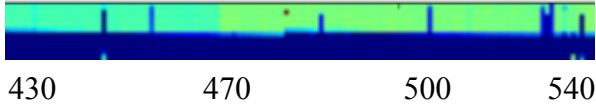
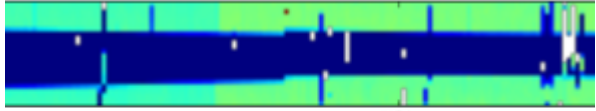
3. AYKIRI DURUMLAR MATRİSİNİN İŞLENMESİ

Bu çalışma özelinde, NMF ile elde edilen her bir noktanın aykırı olma ihtimalini gösteren aykırı durumlar matrisi istatistiksel metotlarla işlenmiştir. Bu işlemenin sonucunda, operasyon birimlerine arıza ve kayıpların erken tespitine yönelik uyarı oluşturulabilecek şekilde çıktılar oluşturulmuştur.

Aydınlatma tüketim profili ve aykırı durumlar matrisi incelendiğinde görülmüştür ki, aykırı durumlar matrisi armatürlerin açık kaldığı saatler ve kapalı kaldığı saatler için ayrı ayrı şablonlar (pattern) oluşturmaktadır. Bunlardan ilki bize, istenmeyen kesintilere ve arıza dolayısı ile gündüz sönmeyen aydınlatmalara dair uyarı oluşturma imkanı vermektedir. İkincisi ise, lamba tüketim verisinden tüketim dalgalanmasını yakalayıp kayıp ihtimaline karşı uyarıda bulunma imkanı sağlamaktadır.

Aykırı durumlar matrisinin histogramı 7 parça oluşacak şekilde alındığında gözlemlenmiştir ki, geçiş saatleri dışındaki (sabah 5, 6, 7, 8 ve 9 ile akşam 17, 18, 19 ve 20) saatlerde histogramın son 2 parçasına denk gelen değerler gündüz saatleri için açık kalan Armatürleri gece saatleri için ise istenmeyen kesintileri göstermektedirler. Gözlemler sonucu çıkarılan kural, python programlama dilinde Aydınlatma verisine uygulandığında Deney ve Sonuçlar bölümünde görüleceği gibi nokta atışı sıkıntılı değerlerin tespit edildiği kanıtlanmıştır.

Yine, yukarıdaki gibi aykırı durumlar matrisinin histogramı 7 parça halinde alındığında görülmüştür ki, gündüz saatlerinde tüketim değerleri sıfır iken aykırı durum matrisinin histogramının 3 ve 4 parçalarına denk düşen değerler kayıp olma ihtimali taşıyan, tüketim artışının yaşandığı haftaları göstermektedir. Bu tespit de yine python programlama dilinde aydınlatma verisine uygulandığında Deney ve Sonuçlar bölümünde görüleceği gibi aydınlatmalar üzerinde tüketim dalgalanmasının olduğu haftalar isabetli olarak çıkarılabilmektedir.

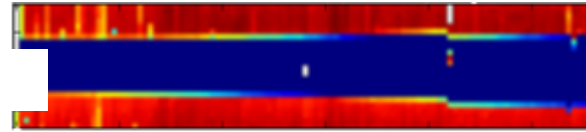


Şekil 2 Aydınlatma 1: 130 günlük tüketim profili, üst taraf: noksnları olan veri, alt taraf: NMF ile tamamlanmış veri (Soğuk renkler tüketimin az olduğu sıcak renkler ise yoğun tüketim olan değerleri göstermektedir.) y eksen: Günün saatleri (0 – 23) x eksen: Günün yıl içindeki sayısı

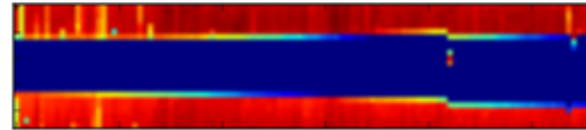


610 650 700

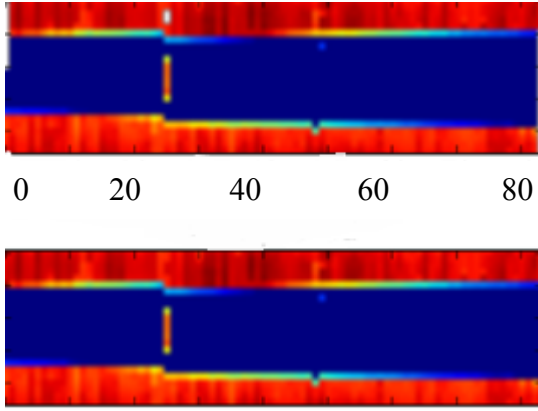
Şekil 3 Aydınlatma 2: 120 günlük tüketim profili, üst taraf: noksnları olan veri, alt taraf: NMF ile tamamlanmış veri (Soğuk renkler tüketimin az olduğu sıcak renkler ise yoğun tüketim olan değerleri göstermektedir.) y eksen: Günün saatleri (0 – 23) x eksen: Günün yıl içindeki sayısı



0 20 40 60 80 100



Şekil 4 Aydınlatma 3: 100 günlük tüketim profili, üst taraf: noksnları olan veri, alt taraf: NMF ile tamamlanmış veri (Soğuk renkler tüketimin az olduğu sıcak renkler ise yoğun tüketim olan değerleri göstermektedir.) y eksen: Günün saatleri (0 – 23) x eksen: Günün yıl içindeki sayısı



Şekil 5 Aydınlatma 4: 80 günlük tüketim profili, üst taraf: noksanları olan veri, alt taraf: NMF ile tamamlanmış veri(Soğuk renkler tüketimin az olduğu sıcak renkler ise yoğun tüketim olan değerleri göstermektedir.)

matrisi de elde edilmiştir. Bu matrisin işlenmesi ile elde edilen sonuçlar tablo1 ve tablo2’de görülebilir. İşleme süreci ile ilgili detaylı açıklama bir önceki bölümde bulunabilir.

Tablo 1 Kayıp Uyarı Tablosu: Yük dalgalanmaları kayıp ihtimaline işaret ediyor

Kayıp Uyarı Tablosu	
	Uyarının verildiği haftanın numarası (gün olarak karşılığı: 7* hafta numarası)
Aydınlatma 1	65, 66, 67, 73, 74, 77
Aydınlatma 2	93, 94, 102
Aydınlatma 3	18
Aydınlatma 4	2, 3, 10, 11, 12

4. DENEY VE SONUÇLAR

Şekil1, şekil2, şekil3 ve şekil4’de görülen heatmap (ısı haritaları) Aydınlatma tüketim profillerini zamana göre göstermektedir. Y eksenini boyunca gün gün ilerlenirken x ekseninde ise saat saat ilerlenmektedir. Bu bildiri dahilinde 4 ayrı Aydınlatmanın yaklaşık 100–120 günlük tüketimleri gösterilmiştir. Heatmap üzerinde enerji kullanım değerleri büyüklükleri arttıkça daha sıcak renklerle ifade edilmektedirler. Mavi en soğuk renk olarak minimum enerji kullanımını gösterirken

kırmızı en sıcak renk olarak en yoğun günleri göstermektedir.

Bu bildiri dahilinde, seçilen aydınlatmaların tüketim verisine önce NMF ile enterpolasyon uygulanmıştır. Şekillerden çıplak gözle görüldüğü gibi enterpolasyon sonucu noksan veriler anlamlı olarak tamamlanırken, orijinal verinin var olan parçaları da bozulmamıştır.

Enterpolasyon sırasında her bir noktanın aykırı olma ihtimalini veren aykırı durumlar

Tablo1’de aydınlatmalarda tüketim dalgalanmasının olduğu haftaların değerleri (hafta numarası) verilmiştir. Hafta numarasına karşılık gelen günlere ait değerlere çıplak gözle heatmap üzerinden bakıldığında görülmektedir ki, tabloda belirtilen haftalara denk gelen yerlerde renk değişimleri söz konusudur. Sıcak renklere doğru geçişler tüketim artışını göstermektedir ki, bu da kayıp ihtimaline dair bir uyarıdır.

Tablo2 ise gündüz saatleri için kapanmayan aydınlatmaların açık kaldığı gün ve saatleri, gece saatleri için ise aydınlatmaların açık olmadığı (istenmeyen kesinti) gün ve saatleri göstermektedir. Tabloda her bir saate denk gelen tüketim de görülebilir. Yine, tablodaki değerlere heatmap üzerinden çıplak göz ile bakıldığında görülecektir ki; tabloda belirtilen gün ve saatlerde yukarıda söz edilen sıkıntılar bulunmaktadır.

5. SONUÇ

Bu çalışmada, aydınlatma tüketim değerlerine NMF yöntemi ile enterpolasyon uygulanmış ve yine bu yöntem ile her bir nokta için aykırı olma ihtimalini veren bir çıktı üretilmiştir. Bunun yanı sıra, aykırı durumları gösteren veri setine istatistiksel metotlar uygulanması, sıkıntı olma ihtimali bulunan noktaların istenmeyen kesinti, gündüz açık kalma ve kayıp ihtimali şeklinde sınıflandırılması önerilmiş ve aydınlatma tüketim verisi üzerinde bu öneri uygulanmıştır. Sonuçlar, heatmap üzerinde karşılık gelen noktalarla direk

karşılaştırıldığında da görülmüştür ki, sıkıntılı durumlar önerilen yöntem ile otomatik olarak tespit edilebilmektedir.

İleriki çalışmalarda, bu çalışmada kullanılan yöntemlerin gerçek veri setine uygulanması planlanmaktadır. Böyle bir durumda, elektrik tüketim verisinin hacmi düşünüldüğünde büyük veri işleme tekniklerinin kullanılacağı ön görülmektedir. Büyük veri işleme teknikleri kullanılırken yöntemlerin dağıtık mimaride kullanılmak üzere paralelleştirilmesi gerekecektir.

Tablo 2 İstenmeyen kesintilerin gerçekleştiği ve aydınlatmaların kapanmadığı gün ve saatleri gösteren tablo

[illegible]

- [1] Souhaib Ben Taieb, Raphael Huser, Rob J Hyndman, Marc G Genton. Probabilistic time series forecasting with boosted additive models: an application to smart meter data". June 2015, Department of Econometrics and Business Statistics Monash University
- [2] R. Perez-Chacon, R. L. Talavera-Llames, F. Martinez-Alvarez and A. Troncoso Finding Electric Energy Consumption Patterns in Big Time Series Data. Springer International Publishing Switzerland 2016
- [3] S. Omatu et al. (eds.), *DCAI, 13th International Conference*, Advances in Intelligent Systems and Computing 474, DOI: 10.1007/978-3-319-40162-1_25
- [4] Liu, Xiufeng; Nielsen, Per Sieverts. Streamlining Smart Meter Data Analytics. Published in: Proceedings of the 10th Conference on Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems
- [5] Rudin C1, Waltz D, Anderson RN, Boulanger A, Salieb-Aouissi A, Chow M, Dutta H, Gross PN, Huang B, Jerome S, Isaac DF, Kressner A, Passonneau RJ, Radeva A, Wu L. Machine learning for the New York City power grid. *IEEE Trans Pattern Anal Mach Intell.* 2012 Feb;34(2):328-45. doi: 10.1109/TPAMI.2011.108.
- [6] Taylan Cemgil, Burak Kurutmaz, Ahmet Cezayirli, Ezgi Bingol and Sait Sener. Interpolation and Fraud Detection on Data Collected by Automatic Meter Reading. The Sixth International Istanbul Smart Grids and Cities Congress and Fair (ICSG 2017)
- [7] M. Burak KURUTMAZ ve A. Taylan CEMGİL, Ahmet CEZAYİRLİ, Ezgi BİNGÖL, Sait ŞENER. Negatif Olmayan Tensör Ayırışım Modelleriyle Güç Tüketimindeki Aykırı Değerlerin Saptanması (Outlier Detection on Power Consumption via Non-negative Tensor Factorization Models). 25th SIGNAL PROCESSING AND COMMUNICATIONS APPLICATIONS CONFERENCE, 2017, 15-18 MAY 2017
- under the terms of the Creative Commons license CC-by-nc-nd4.0.