

TEKNOFEST

HAVACILIK, UZAY VE TEKNOLOJİ FESTİVALİ

AKILLI ULAŞIM YARIŞMASI

PROJE DETAY RAPORU

PROJE ADI: ELEKTRİKLİ ARAÇ AKILLI ŞARJ SİSTEMLERİNDE
TALEP BAZLI DİNAMİK FİYATLANDIRMA İLE GELİR
MAKSİMİZASYONU

TAKIM ADI: TAKIM3

TAKIM ID: T3-26018-200

TAKIM SEVİYESİ: Üniversite-Mezun

1. Proje Özeti (Proje Tanımı)

Elektrikli araçlar için farklı istasyon, soket tipleri mevcuttur. Araçlar soket tipi uyumluluklarına göre şarj olabilmektedirler. Gelişmekte olan pazarda fiyatlandırma stratejileri belirsizdir. Bu çalışmada, ücretsiz hizmet veren şarj istasyonları için gelir maksimizasyonu amaçlanarak fiyatlandırma stratejisinin belirlenmesi problemi ele alınmıştır. Üç zamanlı elektrik alış fiyatına rağmen pazarda hâkim olan sabit fiyat stratejisinin aksine, dinamik fiyatlandırma önerilmiştir. Talebin puant ve yüksek maliyetli saatlerden, maliyetin düşük olduğu saatlere kaydırılması ile talepteki gün içi dalgalanmanın azaltılması amaçlanmıştır. Veri analiz edilmiş; talebin haftanın günlerine, gün içi saatlere dağılımı belirlenmiştir. Fiyat alt ve üst limitleri için konum özellikleri, rakip istasyonlara olan mesafe, bölgenin gelir düzeyi gözetilerek güç tanımlanmıştır. Talebi etkileyen değişkenler, fiyat değişimine tepki gözetilerek bir talep fonksiyonu oluşturulmuştur. Kurulan ikinci derece karma tam sayılı matematiksel modellere ek olarak bir sezgisel algoritma geliştirilmiş, Python dilinde kodlanarak farklı soket tiplerinin dinamik satış fiyatları hesaplanmıştır. Sabit fiyat stratejisine talep dengelemesi açısından %42, kârlılık açısından %54 oranında üstünlük kurulduğu görülmüştür. C# ile bir karar destek sistemi geliştirilerek, saatlik dinamik ve üç zamanlı dinamik olmak üzere şirkete fiyatlandırma stratejisi ve talepteki göze alınabilir kayıp oranını seçebilme imkânı sunulmuştur..

2. Problem/Sorun:

Problem, mevcut durumda hizmet veren şarj istasyonları için uygun fiyatlandırma politikasının belirlenememesi olarak tanımlanabilir. Girilen pazarın yeni oluşu, henüz arzın talepten fazla oluşu, rakiplerin sabit fiyatlandırma stratejileri izlemesi, istasyon sayısının ve talebin güçlü şekilde artacağı tahmini problemin ana hatlarını oluşturmaktadır. Talebi etkileyen birçok değişkenin bulunmasına, elektrik maliyetinin üç zamanlı olmasına ve talebin gün içinde maliyetin en yüksek olduğu zaman aralığına yığılmasına, pazarda hâkim olan sabit fiyat stratejisi kârlılık açısından tepki verememektedir. Talebin bir zaman aralığına yığılmasının, talebin arzdan fazla olduğu bir gelecek düşünüldüğünde uzun kuyruk beklemelerine ve talep kaybına yol açacağı öngörülmektedir. Bataryaları dolmasına rağmen istasyondaki soketin başka bir araca hizmet vermesine engel olan kullanıcılar mevcuttur. Kullanıcıları bu davranıştan caydıracak herhangi bir uygulama bulunmamakta ve gelecekte bu davranışın talep kaybına ve fırsat maliyetine yol açacağı öngörülmektedir. Mevcut şarj noktaları ve gelecekte açılacak istasyonların tamamı için zamana bağlı dinamik satış fiyatları belirleyecek bir algoritma geliştirilmesi hedeflenmektedir. Bu noktada düşünülen, bir istasyon için bütün değişkenlerin gözetildiği bir algoritma ile genel mantığı oluşturmak ve ardından bu algoritmayı bütün istasyonlar için işlevsel hale getirmektir. Proje kapsamında istasyonlar, istasyon ağı olarak ele alınmamış olup; tek bir istasyon üzerinden genel bir mantık geliştirmek hedeflenmiştir. Proje kapsamında ayrıca istasyonlardaki soketleri ihtiyaç dışı meşgul eden araç sahiplerinin sebep olduğu fırsat maliyeti gözetilecektir.

3. Çözüm

Problemin çözümü için öncelikle bütün değişkenleri göz önüne alan bir talep fonksiyonu oluşturulmuştur. Bu fonksiyonun ihtiyaç duyduğu parametreler gerçek verinin analizi ile elde edilmiştir. Geliştirilen ikinci derece karma tam sayılı matematiksel modellere ek olarak bir de sezgisel algoritma geliştirilmiş ve kodlanmıştır. Her iki yöntemin de doğrulama ve

geçerleme analizleri yapıldıktan sonra, gerçek veriler kullanılarak performans testleri ve duyarlılık analizleri yapılmıştır. Son olarak, alternatif fiyatlandırma stratejileri seçebilme ve girdileri değiştirebilmek imkânı sunan bir karar destek sistemi geliştirilmiştir.

Maliyetin ve talebin değişken olmasından yola çıkılarak, elektrikli araç akıllı şarj istasyonlarında fiyatlandırma politikasının belirlenmesi probleminde dinamik fiyatlandırma stratejisi çözüm önerisi olarak sunulmuştur. Talebi etkileyen değişkenler listelenmiş ve bunun sonucunda ihtiyaç duyulan veriler toplanmıştır. Bu değişkenleri gözetken bir talep fonksiyonu oluşturulmuştur. Ardından geliştirilen ikinci derece karma tam sayılı matematiksel modeller CPLEX OPL kullanılarak çözdürülmüştür ve çıktılar geliştirilen sezgisel modelin performans ölçümünde kullanılmıştır. Talebi etkileyen katsayılar regresyon yöntemiyle belirlenip geliştirilen modele parametre olarak dahil edilmiştir.

4. Yöntem

Saatlik Dinamik Fiyatlandırma

Kümeler

$j \in C$: soket tipi	$C = 1,..,4$
$i \in T$: periyot	$T = 1,2,..,96$
$h, k \in B$: saat	$B = 1,2,..,24$

Parametreler

t_j : soket tipleri için periyot cinsinden ortalama şarj etme süresi	$\forall j \in C$
α_i : i periyodunda ücretin 1 tl artışına karşılık müşteri sayısındaki azalış	$\forall i \in T$
DO_{ij} : i periyodunda j soket tipi için fiyat 0 iken şarj eden müşteri sayısı	$\forall i \in T, \forall j \in C$
n_{ij} : i periyodunda kullanılabilir j soket tipi sayısı	$\forall i \in T, \forall j \in C$
c_{hj} : h saatinde j soketini 1 dakika kullanmanın firmaya maliyeti	$\forall h \in B, \forall j \in C$
L_{hj} : h saatinde j soketinin fiyatının alt sınırı	$\forall h \in B, \forall j \in C$
U_{hj} : h saatinde j soketinin fiyatının üst sınırı	$\forall h \in B, \forall j \in C$
γ_{hk} : k saatindeki fiyatın h saatindeki periyotlardaki kişi sayısına etkisi	$\forall h, k \in B$
σ : hava durumunun talebe etkisi	
$W = \begin{cases} 1; & \text{eğer hava durumu 15 derecenin üstünde ise} \\ 0; & \text{diğer durumda} \end{cases}$	
θ : tatil günü olmasının talebe etkisi	
$H = \begin{cases} 1; & \text{eğer incelenen gün tatil günü ise} \\ 0; & \text{diğer durumda} \end{cases}$	
V : Göze alınabilir kayıp oranı	
d : periyot süresi	

Karar Değişkenleri

P_{hj} : j soketi tipi için h saatinde ücret $\forall h \in B, \forall j \in C$

D_{ij} : j soket tipi için i periyodunda şarj işlemine başlayan kişi sayısı $\forall i \in T, \forall j \in C$

RD_{ij} : j soket tipi için i periyodunda şarj işlemine başlayan kişi sayısının gerçek değeri $\forall i \in T, \forall j \in C$

E_{ij} : i periyodunda j soketinden şarj işlemi biten müşteri sayısı $\forall i \in T, \forall j \in C$

S_{ij} : i periyodunda j soketinde sistemde bulunan kişi sayısı $\forall i \in T, \forall j \in C$

Matematiksel Model

Amaç Fonksiyonu:

$$\text{maximize } \sum_{j \in C} \sum_{h \in B} \sum_{i \in T: 4(h-1) < i \leq 4h} ((P_{hi} - c_{hi}) * RD_{ij} * t_j * d)$$

Kısıtlar:

$$D_{ij} = D0_{ij} - \alpha_i * P_{hj} + D0_{ij} * \sigma * W + D0_{ij} * \theta * H + (\sum_{k \in B: k \neq h} \gamma_{kh} * P_{kj}) \quad \forall j \in C, \forall h \in B, \forall i \in T: 4 * (h - 1) < i \leq 4 * h \quad (1)$$

$$D_{ij} \leq 0 \Rightarrow RD_{ij} = 0 \quad \forall i \in T, \forall j \in C \quad (2)$$

$$RD_{ij} = 0 \Rightarrow P_{hj} = L_{hj} \quad \forall j \in C, \forall h \in B, \forall i \in T: 4 * (h - 1) < i \leq 4 * h \quad (3)$$

$$D_{ij} \geq 0 \Rightarrow RD_{ij} = D_{ij} \quad \forall i \in T, \forall j \in C \quad (4)$$

$$E_{ij} = RD_{(i-t_j)j} \quad \forall i \in T, \forall j \in C: i > t_j \quad (5)$$

$$E_{ij} = 0 \quad \forall i \in T, \forall j \in C: i \leq t_j \quad (6)$$

$$S_{ij} = RD_{ij} + S_{(i-1)j} - E_{ij} \quad \forall i \in T, \forall j \in C: j > 1 \quad (7)$$

$$S_{ij} = RD_{ij} - E_{ij} \quad \forall i \in T, \forall j \in C: j = 1 \quad (8)$$

$$S_{ij} \leq n_{ij} \quad \forall i \in T, \forall j \in C \quad (9)$$

$$P_{hj} \geq L_{hj} \quad \forall j \in C, \forall h \in B \quad (10)$$

$$P_{hj} \leq U_{hj} \quad \forall j \in C, \forall h \in B \quad (11)$$

$$(D0_{ij} - RD_{ij}) / D0_{ij} \leq V \quad \forall i \in T, \forall j \in C \quad (12)$$

Amaç fonksiyonunda bir günlük toplam kar yazılmıştır. Günlük toplam kar, her soket tipi için 1 dakikalık şarj etme ücreti ile maliyetinin farkının toplam kaç dakika şarj etme talebi olduğu ile çarpılarak bulunmuştur.

Modelde; (1) ile her soketin her periyottaki talebini etkileyen faktörler yazılmıştır. Bu faktörler sırasıyla; fiyat, hava durumu, incelenen günün tatil günü olup olmaması ve i periyodunun içinde bulunduğu saat için bu saat dışındaki saatlerdeki fiyatların i periyodundaki talebe etkisi olarak ele alınmıştır. (2), (1)'de bulunan talebin 0'ın altına

düşmesi halinde aktif olmaktadır ve bu kısıt, fiyat ne kadar arttırılırsa arttırılsın talebin en düşük 0 olması gerektiğini belirtmek için yazılmıştır. Amaç fonksiyonunda da (1)'de bulunan talep değil, RD olarak ifade edilen talebin gerçek değeri yazılmıştır. (3) ise (2)'nin tamamlayıcısı olarak yazılmıştır. Eğer gerçek talep 0 ise fiyatın alt limitte tutulmasını sağlamaktadır. (4), (1)'de bulunan talep değerinin pozitif bir değere sahip olması halinde gerçek talep değerinin (1)'de bulunan değere eşit olmasını sağlar. (5) ve (6) ile i periyodunda j soket tipinden kaç müşterinin şarj işlemini bitirip sistemden çıkacağı bulunmuştur.

(7) ve (8) i periyodunda j soket tipi için sistemde bulunan kişi sayısını bulunması sağlar. Bu hesap yapılırken bir önceki periyottaki kişi sayısı ile şu an ki periyotta sisteme katılan kişi sayısı toplanır ve sistemden ayrılan kişi sayısı bu toplamdan çıkarılır. (9) i periyodunda j soketinde şarj işlemi yapan müşteri sayısının i periyodunda kullanılabilir j soketi sayısı ile sınırlandırılmasını sağlamaktadır. (10) ve (11) sırasıyla h saatinde j soketinin fiyatının alt ve üst sınırlarının dışına çıkmaması sağlamaktadır. (12) ise hiçbir soket tipi için hiçbir periyotta firmanın pazar büyüklüğünün belirli bir oranından daha fazla talep kaybı yaşamamasını sağlar.

Uygulanabilirlik amacıyla geliştirilip kodlanan sezgisel algoritma, matematiksel modellere benzer şekilde farklı stratejilere göre bir seferde bir haftalık dinamik satış fiyatlarını bir dakikadan kısa sürede hesaplayabilmektedir. İki aşamadan oluşan sezgisel algoritmanın şeması Ek 1'de gösterilmektedir. Matematiksel modellerin çıktıları, sezgisel algoritmanın performans ölçümünde kullanılmış ve optimale oldukça yakın sonuçlar elde edildiği görülmüştür. Sezgisel algoritma üzerinden bir karar destek sistemi geliştirilmiştir. Aşağıdaki görsellerde geliştirilen karar destek sisteminden kesitler gösterilmektedir.

5. Yenilikçi (İnovatif) Yönü

Projenin yenilikçi yönü, elektrikli araç şarj istasyonları için fiyatlandırma çalışmalarının henüz az sayıda olması ve projenin Türkiye'de gerçek veri ile çalışılmış ve karar destek sistemi geliştirilmiş tek dinamik fiyatlandırma çalışması olmasıdır.

6. Uygulanabilirlik

Proje uygulanabilirlik açısından matematiksel ve sezgisel modeller yalnızca mevcut veri üzerinden analiz edilmemiş aynı zamanda duyarlılık analizi ile test edilmiştir. Projenin hayata geçirilebilirliği için bir karar destek sistemi geliştirilmiştir. Uygulanabilirlikte karşılaşılabilecek riskleri minimize etmek amacıyla bu sistem esnek bir biçimde geliştirilmiştir. Bu nedenle geliştirilen bu sistem herhangi bir elektrikli araç şarj hizmeti veren firmaya entegre edilebilir olup ticari ürüne dönüştürülme potansiyeli bulunmaktadır. Geliştirilen karar destek sisteminden kesitler Ek 2 ve Ek 3'de gösterilmiştir.

7. Tahmini Maliyet ve Proje Zaman Planlaması

Proje bir yazılım projesi olması nedeniyle herhangi bir bütçeye ihtiyaç duyulmamaktadır. Aynı zamanda proje geçtiğimiz yıl TÜBİTAK 2242 Üniversite Öğrencileri Araştırma Yarışmalarında yarışmış olup “Akıllı Şehirler ve Ulaşım” kategorisinde 2.lik ödülü almıştır. Bu nedenle proje tamamlanmış bir projedir ve zaman planlaması bulunmamaktadır.

8. Proje Fikrinin Hedef Kitle (Kullanıcılar):

Projenin hedef kitlesi elektrikli araçlar için şarj hizmeti veren firmalar ve elektrikli araç kullanıcılarıdır.

9. Riskler

GZFT Analizi

GÜÇLÜ YÖNLER	ZAYIF YÖNLER
<ul style="list-style-type: none"> Dinamik satış fiyatlarının belirlenmesi Talebi etkileyen değişkenlerin gözetilmesi Geçmiş verilerin analiz edilmesi Talebin fiyat karşısında değişiminin gözetilmesi Talebin yüksek olduğu noktalarda satış fiyatının yükseltilmesi ve gelirin maksimize edilmesi 	<ul style="list-style-type: none"> Parametre sayısının çok olması sebebiyle problemin boyutunun küçültülerek çözülmesi İstasyonlardan gerçek zamanlı veri alışverişi yapılmaması Teoride kurulan sistemin sonuçlarıyla pratikteki uygulamanın sonuçlarının örtüşmeme ihtimali Kurulan modelin tek bir istasyon olduğunu varsayması
FIRSATLAR	TEHDİTLER
<ul style="list-style-type: none"> Mevcut pazarda rakip şirketlerin belirlediği fiyatlandırma politikalarının talebi etkileyen değişkenleri göz ardı ederek sabit fiyat üzerinden satış olması Mevcut durumda bazı istasyonlarda bir fiyatlandırma politikası bulunmaması ve ücretsiz olması 	<ul style="list-style-type: none"> Değişken satış fiyatları karşısında oluşabilecek müşteri kayıpları Bekleme cezası karşısında oluşabilecek müşteri kayıpları

10. Proje Ekibi

Takım Lideri: Hikmet Sena Taşlı

Adı Soyadı	Projedeki Görevi	Okul	Projeyle veya problemle ilgili tecrübesi
Hikmet Sena Taşlı	Matematiksel Modelin Geliştirilmesi	TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi	Bitirme Projesi
Arda Asaroğlu	Karar Destek Sisteminin Geliştirilmesi	TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi	Bitirme Projesi
Fatih Özkaya	Sezgisel Algoritmanın Geliştirilmesi	TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi	Bitirme Projesi

11. Kaynaklar

- [1] M. Amjad, A. Ahmad, M. H. Rehmani, T. Umer. (2018). "Are view of evs charging: From the perspective of energy optimization, optimization approaches, and charging techniques," Transportation Research D: Transport and Environment, 62, 386–417.
- [2] S. Behboodi, C. Crawford, D. P. Chassin, N. Djilali. (2016). "Integration of price-driven demand response using plug-in electric vehicles in smart grids," 1–5, IEEE.
- [3] A. Gupta, J. C. Mukherjee. (2015). "A review of charge scheduling of electric vehicles in smart grid.," IEEE Systems Journal, 9, 4, 1541–1553.
- [4] J. Hu, M. Lind. H. Morais, T. Sousa. (2016). "Electric vehicle fleet management in smart grids: A review of services, optimization and control aspects," Renewable and Sustainable Energy Reviews, 56, 1207–1226.
- [5] P. Ghosh. C. Jin, J. Tang. (2013). "Optimizing electric vehicle charging: A customer's perspective," IEEE Transactions on Vehicular Technology, 62, 7, 2919–2927.
- [6] G. Bassett, M. Biviji, D. Ton, C. Uçkun, J. Wang. (2014). "Patterns of electric vehicle charging with time of use rates: Case studies in California and Portland", (ISGT), 1-5.

EKLER

Ek 1

1. Aşama

Özgün Sezgisel Algoritma



2. Aşama

Özgün Sezgisel Algoritma



Ek 2



Ek 3

HAFTALIK KÂR	7874 ₺					
SAAT	22:00-00:00	00:00-02:00	02:00-04:00	04:00-06:00	06:00-08:00	GÜNLÜK KÂR
00:00-02:00	0,24 ₺/kWh	1,24 ₺/kWh	1,10 ₺/kWh	1,72 ₺/kWh		374 ₺
02:00-04:00	0,23 ₺/kWh	1,39 ₺/kWh	1,25 ₺/kWh	2,05 ₺/kWh		
04:00-06:00	0,23 ₺/kWh	1,24 ₺/kWh	1,94 ₺/kWh	2,13 ₺/kWh		
06:00-08:00	0,45 ₺/kWh	0,36 ₺/kWh	1,28 ₺/kWh	1,43 ₺/kWh		1009 ₺
08:00-10:00	0,66 ₺/kWh	1,39 ₺/kWh	1,33 ₺/kWh	1,87 ₺/kWh		
10:00-12:00	0,73 ₺/kWh	0,23 ₺/kWh	2,40 ₺/kWh	2,07 ₺/kWh		954 ₺
12:00-14:00	0,37 ₺/kWh	1,24 ₺/kWh	1,52 ₺/kWh	1,85 ₺/kWh		
14:00-16:00	0,63 ₺/kWh	1,39 ₺/kWh	1,54 ₺/kWh	1,84 ₺/kWh		
16:00-18:00	0,80 ₺/kWh	1,11 ₺/kWh	1,85 ₺/kWh	1,81 ₺/kWh		801 ₺
18:00-20:00	0,45 ₺/kWh	0,36 ₺/kWh	1,10 ₺/kWh	1,38 ₺/kWh		
20:00-22:00	0,63 ₺/kWh	0,36 ₺/kWh	1,36 ₺/kWh	1,84 ₺/kWh		
22:00-00:00	0,57 ₺/kWh	0,23 ₺/kWh	2,03 ₺/kWh	1,39 ₺/kWh		954 ₺
TOPLAM						7874 ₺