

ASANSÖRLERDE ENERJİ VERİMLİLİĞİ VE REJENERATİF FRENLENME ENERJİSİNİN GERİ KAZANIMI

Altan Demir¹, Hamit Güngör², Erhan Ongun³

MİKOSİS Elektronik Asansör San. Tic. Ltd. Şti.
^{1,2,3}mikosis@mikosis.com

ÖZET

Günümüzde küresel çevre problemlerini önlemek için farklı çözüm yöntemleri üzerine odaklanılmaktadır. Bu önlemlerden biri de elektrikle çalışan aygıtlar için enerji tasarruf yöntemlerinin geliştirilmesidir. Geleneksel asansör sistemlerine bakacak olursak, seyir esnasında asansör elektrik motoru tarafından üretilen frenleme enerjisi, sürücünün dc barına bağlı rheostatik direnç üzerinde atıl ısı olarak harcanır. Sonuçta, tüm asansör sistemi önemli ölçüde bir enerji kaybı yaşar. Çevresel bakış açısı, enerji maliyetlerinin yükselmesi, artan enerji verimliliği ve sürdürülebilirlik talepleri mevcut asansör sistemlerinin sorgulanmasına neden olmakta ve kullanılmayan atıl enerji potansiyellerinin geri kazanılması gerektiğini ortaya çıkarmaktadır.

Aynı zamanda, asansörlere artan ihtiyaç, güvenilir ve verimli bir yedek güç sistemini gerektirmektedir. Çok katlı binalarda asansörlere olan bağımlılık, şebeke güç sistemi arızalarına rağmen hizmette sürekliliği gerektirmektedir. Şebeke güç sisteminde bir arıza nedeni ile asansörün hizmet dışına çıkması, yedek güç sistemi ile donatılmamış asansörlerde son derece ciddi ve riskli durumların oluşmasına sebep olabilmektedir.

Bu bildiri kapsamında, rejeneratif seyir esnasında motor tarafından üretilen frenleme enerjisinin çift-yönlü rejeneratif ünite (AFE) üzerinden şebekeye geri kazanımı ve asansörün enerji verimliliğini artırıcı yöntemler üzerinde araştırma ve deneysel çalışmalar yapılmıştır.

1. GİRİŞ

Asansör sistemlerinde enerji tüketimlerinin ölçümü ve verimliliğin etiketlenmesine ilişkin temel yöntemler, VDI 4707-2 Kılavuzu'nda [1] ve ISO 25745-1: 2012 Standardında [2] tanıtılmıştır. 2009 yılında Alman Mühendisler Birliği tarafından yayımlanan VDI 4707-2 kılavuzu ile mevcut ve yeni devreye alınmış asansörlerin yıllık enerji sarfıyatı hesaplanabilmekte, karşılaştırılabilmekte ve asansör enerji verimliliği sınıfı (A...G) ve kullanım kategorisi (1...5) belirlenebilmektedir. Ayrıca, asansörlerin enerji performansının ölçülmesine ve değerlendirilmesine yönelik ISO 25745-1: 2012 Standardı yayımlanmıştır.

VDI 4707-2 Kılavuzu, asansörlerin enerji verimliliğine ilişkin olarak hazırlanmış ve asansörlerin enerji tüketiminin standart bir kritere göre değerlendirilmesi ve sınıflandırılması amacıyla hazırlanmıştır. Bu kılavuz, esas olarak yeni kurulacak insan ve yük asansörlerinin enerji verimliliği sınıflandırılmasına yönelik olarak planlanmış olmasına karşın, mevcut asansörlerin enerji verimliliğinin belirlenmesi, üreticiler tarafından verilen enerji tüketim değerlerinin objektif olarak incelenmesi ve enerji tüketim tahminlerinin öngörülmesi için de kullanılmaktadır. Kılavuzda öngörülen yöntemler kullanılarak elde edilen sonuçlar ile belirlenen "asansör sisteminin enerji verimliliği sınıfı" bir belge ile onaylanmış kuruluş tarafından tescil edilmektedir.

Asansörlerde enerji performansı ve verimliliğinin ölçülmesi, sınıflandırılması ve sürekli iyileştirilmesi ihtiyacı, asansör kumanda sistemlerinde de “enerji verimliliği” odaklı AR-GE çalışmaları yapma fikrini ve ihtiyacını ortaya çıkarmaktadır.

Bu kapsamda; enerji verimliliği yüksek bir asansörde kullanılacak kumanda sisteminin sahip olmasını beklediğimiz 2 temel işlev aşağıda belirtilmiştir:

- A. Motorun frenleme fazında üretilen rejeneratif frenleme enerjisinin atıl ısı enerjisi olarak rheostatik direnç üzerinde harcanması yerine sisteme faydalı enerji olarak geri kazanımı.
- B. Asansörün toplam enerji tüketiminin büyük bir kısmının gerçekleştiği bekleme (standby) işletim modundaki aktif enerji tüketiminin düşürülmesi.

Bu çalışma kapsamında uygulanacak yöntem ve elde edilmesi amaçlanan kazanımlar;

- Asansör motorunun frenleme fazında üretilen rejeneratif frenleme enerjisinin (a) ultra-kapasitörlerde depolanması ve depolanan enerjinin asansörün enerji talebinde tekrar kullanılması, (b) çift-yönlü enerji akışına imkân sağlayan AFE (active front-end) sürücü ünitesi üzerinden rejeneratif frenleme enerjisinin şebekeye faydalı enerji olarak geri kazanımı.
- Asansör bekleme (standby) işletim modundaki aktif enerji tüketiminin hesaplanabilmesi için VDI 4707-2 kılavuzunda belirtilen asansör komponentlerinin normal işletim (P0) ve enerji tasarruf işletim modlarındaki (S0, S1, S2) enerji tüketimlerinin ayrı ayrı tanımlanması. Asansör kumanda sisteminin, enerji tasarruf işletim modlarında sistemi kontrol edebilmesi için gerekli sistem optimizasyon çalışmalarının yapılması.

Böylece;

- Yeni tesis edilecek asansörlerin tasarımında ve mevcut işletmedeki asansörlerin modernizasyon projelerinde “Enerji Verimli Asansör” odaklı ve öncelikli ürünlerin tercih edilmesi ve seçilmesi,
- Asansörlerin enerji tüketimlerinin sürekli ve düzenli olarak izlenebilmesi ile asansörlerin kısa, orta, uzun vadede öngörülebilir bakım/işletme/enerji maliyetlerinin planlanabilmesi ve tesisin enerji giderlerinin kontrol edilebilmesi,
- Tesisin aktif enerji talebinin ve enerji sistem alt yapısının optimizasyonu ile ülke ekonomisine pozitif katkı sağlanması

amaçlanmaktadır.

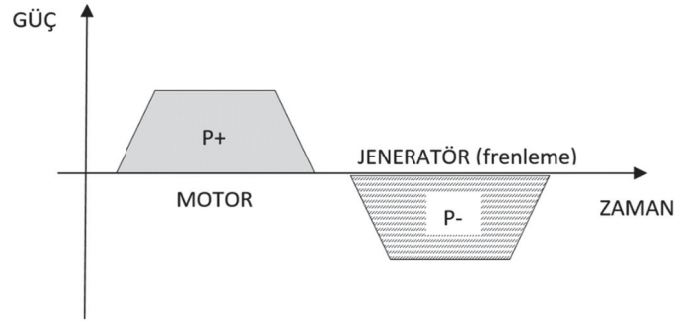
Yukarıda tanımladığımız ve enerji verimliliği yüksek bir asansörde kullanılacak asansör kumanda sisteminin sahip olmasını beklediğimiz 2 temel işlev ile ilgili araştırma ve uygulamalı deneysel çalışmalarımızın bir kısmı aşağıda rapor edilmiş olup, çalışmalarımız devam etmektedir.

2. ASANSÖRLERDE ENERJİ VERİMLİLİĞİ

2.1 Rejeneratif Frenleme Enerjisi ve Geri Kazanımı

Asansörlerde enerji verimliliği çalışmalarına başlamadan önce tipik bir asansör tahrik sistemindeki enerji akışını incelemek gerekir. Asansör motoru, hareket yönüne ve yük durumuna bağlı olarak elektrik enerjisi ya tüketebilir (motor fazı) ya da üretebilir (frenleme fazı).

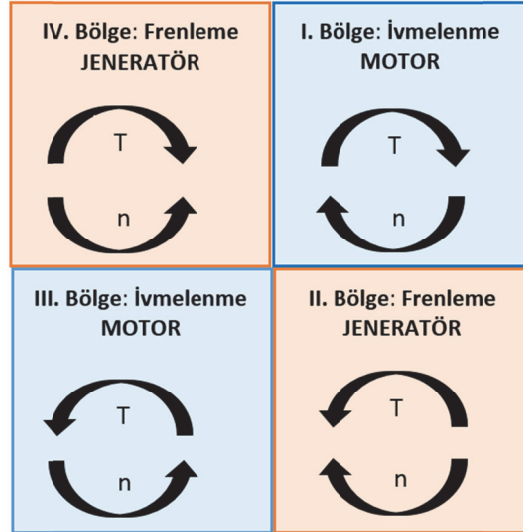
Şekil 1’de bir asansör işletim döngüsünde gerçekleşen tipik bir enerji akışı, diyagram üzerinde gösterilmiştir. Gri boyalı alan, motor fazı esnasında şebekeden çekilen enerjiyi temsil eder. Çentikli alan ise motorun frenleme fazında üretilen enerjiyi temsil eder. Geleneksel asansörlerde asansör motor sürücüleri her iki yönde serbest enerji akışına izin vermeyen diyot doğrultucular kullandığından dolayı frenleme enerjisi, frenleme direncinde ısı olarak harcanır ve önemli ölçüde enerji kaybı olur. Diyot doğrultucu yerine tam kontrollü IGBT çevirici kullanılan asansör sürücü sistemlerinde ise rejeneratif frenleme enerjisinin şebekeye geri kazanımı mümkün olabilmektedir.



Şekil 1. Asansör işletim döngüsünde motor ve jeneratör çalışma bölgeleri.

AC motorun çalışma fazları (motor, jeneratör), 4-bölgeli koordinat düzleminde Şekil 2’de gösterilmiştir.

MOTOR 4-BÖLGELİ ÇALIŞMA

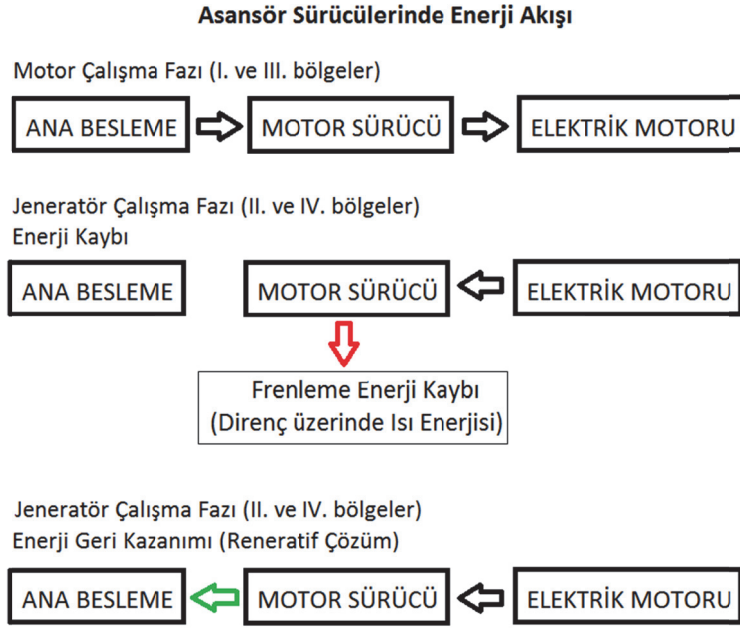


Şekil 2. AC motorun 4-bölgeli çalışma fazları (T: Moment, n: Nominal Hız).

Elektrik enerjisinin hareket enerjisi olarak motora aktarıldığı I. ve III. bölge “motor çalışma bölgesi” olarak adlandırılır ve bu bölgelerde güç pozitifdir. Yükün ataletinden kaynaklanan hareket enerjisinin elektrik enerjisi olarak motora aktarıldığı II. ve IV. bölge “jeneratör veya frenleme bölgesi” olarak adlandırılır ve bu bölgelerde güç negatiftir. Bu durumda ortaya çıkan enerji, frenleme direnci üzerinde ısı enerjisi olarak tüketilir veya rejeneratif ünite (AFE) üzerinden şebekeye elektrik enerjisi olarak geri beslenir.

Rejeneratif üniteler sayesinde, II. ve IV. bölgelerde ortaya çıkan frenleme enerjisinin tekrar kullanılması ile önemli ölçüde enerji tasarrufu sağlanmış olur. Böylece, asansörün verimliliğine pozitif katkı sağlanmış olur.

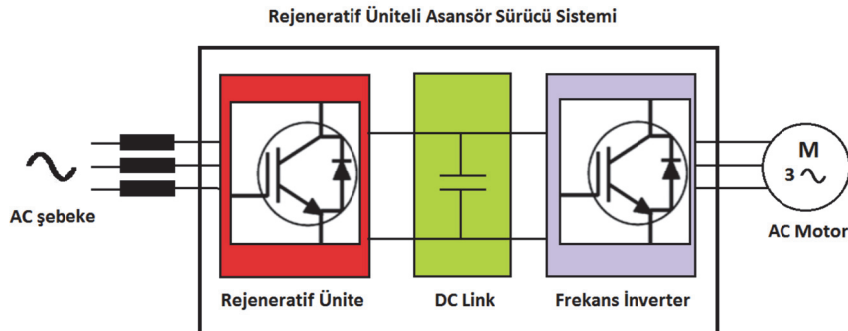
Asansör sürücülerinde enerji akışı, motor çalışma fazı (I. ve III. bölgeler) ve jeneratör çalışma fazı (frenleme fazı) (II. ve IV. bölgeler) Şekil 3'de gösterilmiştir. Jeneratör çalışma fazında ters enerji akışı ya frenleme enerjisinin direnç üzerinde ısı enerjisi olarak tüketilmesi ya da rejeneratif ünite üzerinden frenleme enerjisinin şebekeye geri basılması şeklinde olabilmektedir.



Şekil 3. Asansör sürücülerinde enerji akışı: motor çalışma fazı (I. ve III. bölgeler) ve jeneratör çalışma (frenleme) fazı (II. ve IV. bölgeler). Jeneratör çalışma fazında ters enerji akışı 2 farklı şekilde olabilmektedir; (a) frenleme enerjisinin direnç üzerinde ısı enerjisi olarak tüketilmesi, (b) rejeneratif ünite üzerinden şebekeye geri basılması.

Kabin yüküne ve hareket yönüne bağlı olarak AC tahrik ünitesi, motor ya da jeneratör olarak çalışır. Motor fazında elektrik enerjisi şebekeden çekilerek tüketilir, motor frenleme fazında ise üretilen rejeneratif frenleme enerjisi sürücünün DC link üzerine geri beslenir.

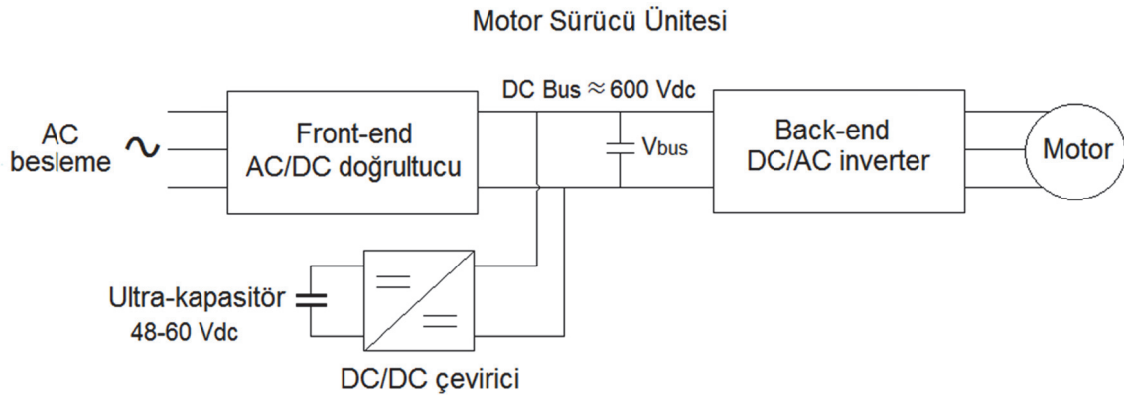
Şekil 4'de önerilen çift-yönlü rejeneratif asansör sürücü tasarımında, rejeneratif ünite (AFE, active-front-end), motor fazında bir doğrultucu olarak çalışarak AC şebekeden motora enerji akışını sağlamakta, motor frenleme fazında ise bir inverter olarak çalışarak motorda üretilen rejeneratif frenleme enerjisinin DC linkten AC şebekeye akışını sağlamaktadır [3].



Şekil 4. Rejeneratif üniteli (AFE) asansör sürücü sisteminin temel bileşenleri [3].

Şekil 5’de rejeneratif frenleme enerjisinin geri kazanımı için önerilen “ultra-kapasitör güç depolama ünitesi” destekli bir sürücü tasarımına ait taslak blok şema verilmiştir. Bu tasarımda, frenleme fazında üretilen ve sürücünün DC bus üzerinde yüklenen rejeneratif frenleme enerjisi çift yönlü enerji akışına sahip uygun bir DC/DC çevirici ünitesi üzerinden ultra-kapasitör güç depolama birimlerinde depolanmaktadır [4-6].

Ultra-kapasitörlerde depolanan enerji, asansör tahrik ünitesinin motor fazında tekrar kullanılarak asansörün enerji verimliliğine pozitif katkı sağlayabilir. Böylece, geleneksel asansör kontrol sistemlerinde atıl ısı olarak direnç üzerinde harcanan frenleme enerjisi tekrar motor fazında kullanılarak enerji geri dönüşümü sağlanmış olacaktır.



Şekil 5. Rejeneratif frenleme enerjisinin geri kazanımı için önerilen ultra-kapasitör güç depolama ünitesi destekli sürücü tasarımı [4-6].

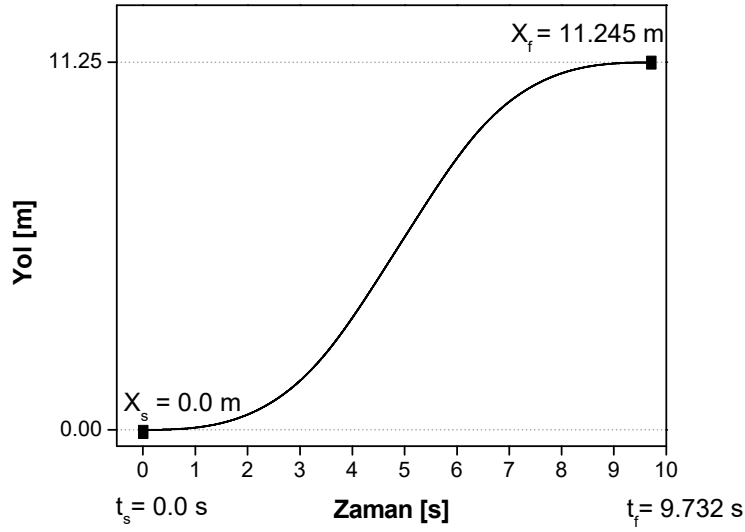
Test için seçtiğimiz örnek asansörün güç analiz çalışmalarında Mikosis şirket binasında mevcut insan asansörü kullanılmıştır.

Asansör Özellikleri

Tipi	: İnsan Asansörü
Yer	: Mikosis Şirket Binası
Taşıma Kapasitesi	: $Q = 400 \text{ kg}$
Hız	: $v = 2,5 \text{ m/s}$
Seyir mesafesi	: $H \approx 11 \text{ m}$
Kat/Durak Sayısı	: zemin + 3 kat = 4 durak
Kabin Ağırlığı	: $m_{\text{kabin-ağırlık}} = 600 \text{ kg}$
Karşı ağırlık	: $m_{\text{karşı-ağırlık}} = 800 \text{ kg}$
Halat ağırlığı	: $m_{\text{halat}} = 10 \text{ kg}$

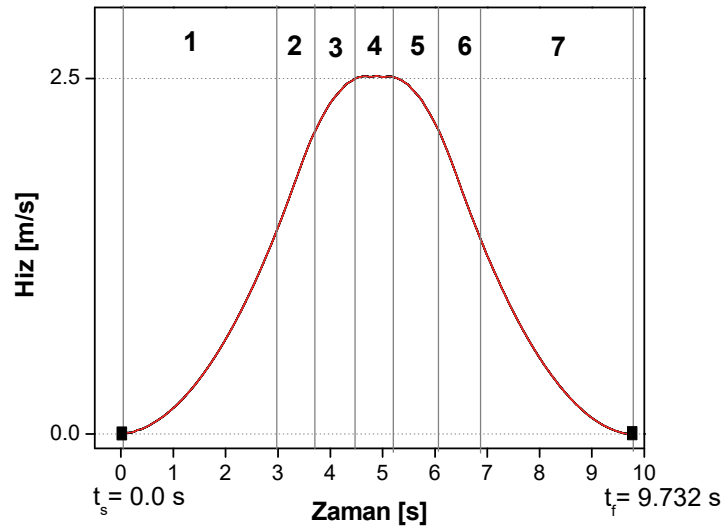
V3F vektör hız kontrollü, senkron motorlu (PMSM) dişlisiz tahrik ünitesine sahip test asansörümüzün zamana göre değişen hareket eğrileri (Yol, Hız, İvme grafikleri) sırasıyla Şekil 6, Şekil 7 ve Şekil 8’de incelenmiştir.

Asansörün hareket esnasındaki anlık ivme bilgileri, Henning marka 3-eksenli ivme sensörü kullanılarak 1 ms zaman aralıklarında alınmıştır.



Şekil 6. Yol-Zaman grafiği.

Şekil 6'da verilen Yol-Zaman, $x(t)$, grafiğine göre test asansörümüzün toplam seyir mesafesi 11,24 m, toplam seyir süresi 9,73 s olarak gerçekleşmiştir.

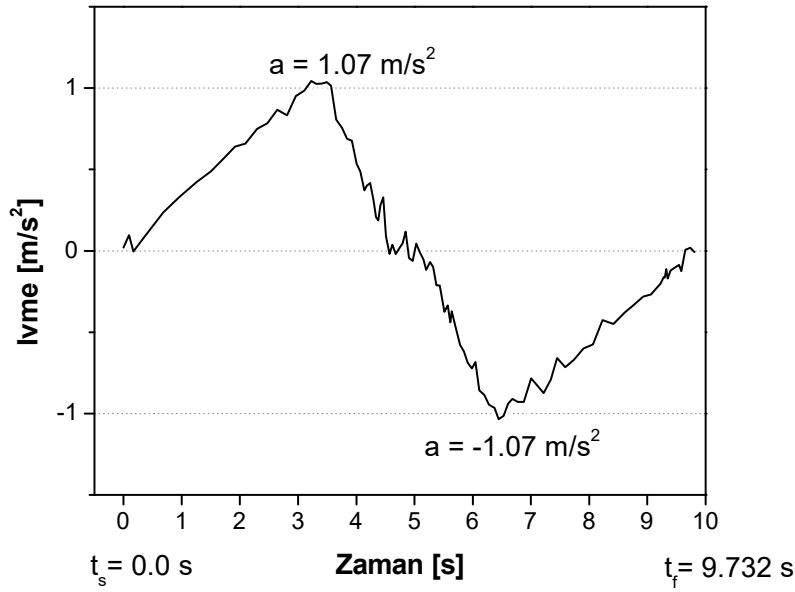


Şekil 7. Hız-Zaman grafiği.

Şekil 7'de Hız-Zaman, $v(t)$, S-eğrisi görülmektedir. Seyir boyunca gerçekleşen hız profili 7 farklı bölgeye ayırarak yük durumuna göre ayrı ayrı analiz edilebilir. Şöyle ki;

- 1.bölge: ivme artar (*initial jerk=soft start*)
- 2.bölge: sabit ivme (*constant acceleration to speed*)
- 3.bölge: ivmelenme azalır, max. seyir hızına ulaşılır (*round up to speed, roll over jerk*)
- 4.bölge: sabit seyir hızı (*constant travelling speed*)
- 5.bölge: ters yönlü ivme artmaya başlar (*round down to deceleration*)
- 6.bölge: sabit ters yönlü ivme (*constant deceleration*)
- 7.bölge: ters yönlü ivme azalmaya başlar, hız sıfıra yaklaşır (*final approach, soft stop*)

Şekil 8'de İvme-Zaman, $a(t)$, grafiği verilmiştir. Maksimum ivme $\sim 1,0 \text{ m/s}^2$ de gerçekleşmiştir.



Şekil 8. İvme-Zaman grafiği.

2.1.1 Güç/Enerji Hesapları

Yukarıda hareket bilgileri verilen test asansörüne ait tahrik motorunun “motor ve jeneratör çalışma fazlarındaki” güç/enerji hesaplamaları aşağıda verilmiştir. Hesaplamalarda kullanılan yöntem ve formüller, VDI 4707-2 Bölüm 7.2 [1]’de tanımlanmıştır.

Motor/Sürücü Bilgileri (Üretici):

Motor Tipi	Dişlisiz/Senkron (PMSM)
Motor Güç	$P = 8,5 \text{ kW}$
Tork	$T = 285 \text{ Nm}$
Dişli Verimi	$\eta_{dişli} = 1,0$ (dişli grubu yok)
Motor Verimi	$\eta_{motor} = 0,92$
Konvertör Verimi	$\eta_{konvertör} = 0,98$
Diğer Toplam Güç	$P_{toplam} = 250 \text{ W}$ (tahrik ünitesine ait fan ve fren güç tüketimi)
Teknoloji Faktörü	$k_T = 0,34$
Toplam Verim	$\eta_{toplam} = \eta_{kuyu} \cdot \eta_{motor} \cdot \eta_{dişli} \cdot \eta_{konvertör}$ (1)
	$\eta_{toplam} = 0,90 \times 0,92 \times 1,0 \times 0,98$
	$\eta_{toplam} = 0,811$
Fark Kütle	$m_{fark} = m_{karşı-ağırlık} - (m_{kabin-ağırlık} + 0,5 \cdot m_{halat})$ (2)
	$m_{fark} = 800 - (600 + 0,5 \times 10) = 195 \text{ kg}$

Hızlanma \approx Yavaşlama İvmesi $a \approx 1,0 \text{ m/s}^2$
(düzeltme faktörü 0,5)

$$\text{Hızlanma süresi} \quad t_{\text{hızlanma}} = \frac{v}{a_{\text{ort}}} = \frac{2,5 \text{ m/s}}{0,5 \text{ m/s}^2} = 5,0 \text{ s} \quad (3)$$

$$\text{Seyir süresi} \quad t_{\text{seyir}} = \frac{H}{v} = \frac{11,245 \text{ m}}{2,5 \text{ m/s}} = 4,498 \text{ s} \quad (4)$$

$$\text{Toplam seyir süresi} \quad t_{\text{toplam}} = 5,0 \text{ s} + 4,498 \text{ s} = 9,498 \text{ s (hesaplanan)}$$

Motor güç hesabı (sabit seyir hızında):

$$P_{\text{motor}} = \frac{m_{\text{fark}} \cdot g \cdot v}{\eta_{\text{toplam}}} \quad (5)$$

$$P_{\text{motor}} = \frac{195 \times 9,81 \times 2,5}{0,811} \approx 5,89 \text{ kW}$$

Rejeneratif seyirde güç hesabı:

$$P_{\text{jen}} = -m_{\text{fark}} \cdot g \cdot v \cdot \frac{2\eta_{\text{toplam}} - 1}{\eta_{\text{toplam}}} \quad (6)$$

$$P_{\text{jen}} = -195 \times 9,81 \times 2,5 \times \frac{2 \times 0,811 - 1}{0,811} \approx -3,67 \text{ kW}$$

teknoloji faktörü, $k_T = 0,34$ (dişlisiz motor)

Motor enerji hesabı:

$$E_{\text{motor}} = m_{\text{fark}} \cdot g \cdot v \cdot \frac{1}{\eta_{\text{toplam}}} \cdot (t_{\text{seyir}} + k_T \cdot t_{\text{hızlanma}}) + P_{\text{toplam}} \cdot (t_{\text{hızlanma}} + t_{\text{seyir}}) \quad (7)$$

$$E_{\text{motor}} = 195 \times 9,81 \times 2,5 \times \frac{1}{0,811} \times (4,498 + 0,34 \times 5,0) + 250 \times (5,0 + 4,498)$$

$$E_{\text{motor}} = 38.923,4 \text{ Ws} \approx 10,81 \text{ Wh}$$

Rejeneratif seyirde enerji hesabı:

$$E_{\text{jen}} = -m_{\text{fark}} \cdot g \cdot v \cdot \frac{2\eta_{\text{toplam}} - 1}{\eta_{\text{toplam}}} \cdot \left(t_{\text{seyir}} - \frac{k_T}{2\eta_{\text{toplam}} - 1} \cdot t_{\text{hızlanma}} \right) + P_{\text{toplam}} \cdot (t_{\text{hızlanma}} + t_{\text{seyir}}) \quad (8)$$

$$E_{jen} = -195 \times 9,81 \times 2,50 \times \frac{2 \times 0,811 - 1}{0,811} \times \left(4,498 - \frac{0,34}{2 \times 0,811 - 1} \times 5,0 \right) + 250 \times (5,0 + 4,498)$$

Rejeneratif seyirde enerji dengesine katkı; $E_{jen,şebeke} = -4.099,28 \text{ } Ws \approx - 1,139 \text{ } Wh$

Referans seyir esnasında şebekeden enerji talebi:

$$E_{seyir,ref} = E_{motor,ref} + E_{jen,şebeke} = 10,81 \text{ } Wh + (-1,139 \text{ } Wh) = 9,671 \text{ } Wh \quad (9)$$

Güç hesaplarında kullandığımız test asansörü, göreceli olarak düşük seyir yüksekliğine (11,24 m) sahip olduğundan dolayı motorun rejeneratif seyirde çalışma süresi ve dolayısıyla enerji dengesine katkısı da düşük bir değer olarak görülebilir. Ancak, artan seyir yüksekliği ile doğru orantılı olarak rejeneratif çalışma süresi de artacağından dolayı sonuçta asansörün şebeke net enerji dengesine katkısı da yüksek olacaktır.

2.2 Asansörün Bekleme (standby) ve Seyir Esnasındaki Enerji Tüketimleri

Bu proje çalışmasının 2.fazında, test asansörümüzün bekleme ve seyir esnasında gerçekleşen enerji tüketimleri güç analizörü kullanarak ölçülecek ve asansörün kullanım kategorisine göre enerji verimlik sınıfı VDI 4707 kılavuzunda tanımlanan kriterlere göre belirlenecektir.

Asansörlerde enerji tüketimi; (a) bekleme (standby) esnasında ve (b) seyir esnasında olmak üzere 2 temel kısımdan oluşmaktadır. Beklemede enerji tüketimi, asansörün hizmete hazır bekleme durumunda iken tükettiği enerji olarak tanımlanır. Bu tüketime, kuyu ve makine dairesi aydınlatması, havalandırılması gibi asansörün kendi devre, düzenek ve sistemleri dışındaki tüketimler dâhil değildir. Seyir esnasında enerji tüketimi ise, asansörün belirli bir yük altında belirli bir çevrim çalışması sonucunda tükettiği enerji olarak tanımlanmıştır. Bu şekilde ölçülen enerji değerinden bir asansör sisteminde birim ağırlığın, birim mesafeye taşınması için gereken “özgül seyir enerji tüketimi mWh/kg.m” belirlenir.

Asansörün bekleme ve seyir esnasındaki aktif enerji tüketimlerinin ayrı ayrı hesaplanabilmesi için aşağıda listelenen asansör komponentlerinin normal işletim (P0) ve enerji tasarruf işletim modlarındaki (S0, S1, S2) enerji tüketimlerinin tanımlanması gerekmektedir:

- Asansör ana kontrol kartı (I/O modüller, röleler, kontaktörler dâhil)
- Frekans inverter ünitesi (sürücü)
- Kabin/kat butonyer ve göstergeleri
- Tam otomatik kat ve kabin kapıları
- Fotosel
- Aşırı yük sistemi
- Kabin aydınlatması
- Makine-motor havalandırma üniteleri
- Güvenlik komponentleri

Yukarıda listelenen asansör komponentlerinin belirtilen enerji tasarruf modlarında çalıştırılabilmesi için ana kontrol kartının uyandırma (wake-up) fonksiyonunu desteklemesi gerekmektedir.

3. SONUÇ

Rejeneratif seyir esnasında motorda üretilen frenleme enerjisinin AFE üzerinden şebekeye geri basılması ya da ultra-kapasitörlerde depolanarak tekrar kullanılmasına yönelik alternatif yöntemler ile şebeke enerji dengesine önemli miktarda katkı sağlanacağı görülmektedir. Tercih edilecek enerji geri kazanım ve depolama yönteminin belirlenmesinde ve tasarımında, asansörün seyir mesafesi, hızı, kapasitesi gibi özellikler etken olacaktır. Ayrıca; asansörün hız, kapasite ve seyir mesafesi özelliklerinin yanında, özellikle asansörün kullanım sıklığı, bekleme ve seyir esnasında ki enerji tüketimlerini azaltmak için hangi aksiyonların alınması gerektiğinin belirlenmesi de verimlilik hesaplarında önemli olacaktır. Yukarıda tanımladığımız ve enerji verimli bir asansörde kullanılacak asansör kumanda sisteminin sahip olmasını beklediğimiz temel işlevler ile ilgili araştırma ve uygulamalı deneysel çalışmalarımız devam etmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] **VDI 4707-2**, Lifts-Energy efficiency of components: the basis for an energy-efficiency rating of lifts. Classification of lifts on the basis of the energy efficiency of the lift components.
- [2] **ISO 25745-1:2012**. Energy performance of lifts, escalators and moving walks-Part 1: Energy measurement and verification.
- [3] **Gefran Drive & Motion Control**, 2013. "Basics of Drives and AFE Regenerative Power Supply Unit".
- [4] **Oyarbide, E., Jimenez, L.A., Molina, P., Galvez, R., and Bernal, C.**, 2015. Challenges of Low-voltage Energy Storage for Lifts, *Proceedings of the 5th Symposium on Lift & Escalator Technologies*, the CIBSE Lifts Group and The University of Northampton, ISSN 2052-7233, Vol.5, s.147-157.
- [5] **Pacheco, V., Molina-Gaudo, P., Jimenez, L., and Oyarbide, E.**, 2015. Improving the Energy Efficiency of Lifts, *Proceedings of the 5th Symposium on Lift & Escalator Technologies*, the CIBSE Lifts Group and The University of Northampton, ISSN 2052-7233, Vol.5, s.159-170.
- [6] **Tominaga, S., Suga, I., Araki, H., Ikejima, H., Kusuma, M., and Kobayashi, K.**, 2002. Development of Energy-Saving Elevator Using Regenerated Power Storage System, *Proceedings of the Power Conversion Conference, PCC-Osaka 2002*, s.890-895.