

ASANSÖR SİSTEMLERİNDEKİ İLETİŞİM MEKANİZMASI

N. Özlem ÜNVERDİ*

Yıldız Teknik Üniversitesi, Elektrik-
Elektronik Fakültesi, Elektronik ve
Haberleşme Mühendisliği Bölümü, İstanbul
unverdi@yildiz.edu.tr

N. Aydın ÜNVERDİ

İstanbul Teknik Üniversitesi, Makina
Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü,
İstanbul
unverdi@itu.edu.tr

ÖZET

Çok katlı binaların temel taşları arasında yer alan asansör sistemleri, katlar arasındaki ulaşımı sağlamakta ve bu sırada zaman kaybının azalmasına destek olmaktadır. Güvenilir ve karşılaşılabilecek sorunlar karşısında çözüm üretecek özelliklere sahip olan hızlı asansör sistemleri ile ulaşım süresi daha da kısalmaktadır.

Bu çalışmada, asansör sistemlerinin tarihsel süreç içindeki gelişimi açıklanmış ve karakteristik özellikleri incelenmiştir. Optik fiberlerin ve koaksiyel kabloların yer aldığı kablolu haberleşme sistemleri ile antenin kullandığı kablosuz haberleşme sistemleri irdelenmiş ve sistemin iletişim bilgileri analiz edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Asansör, asansör mühendisliği, akıllı bina, optik fiber, koaksiyel kablo, anten ve propagasyon

Communication Mechanism in Elevator Systems

ABSTRACT

Elevator systems which are among the basic utilities of multi - level buildings, facilitate transportation among the levels, hence decreasing the time loss of residents. The time spent during the transportation is further decreased by fast elevator systems which are reliable and equipped with means of solving the encountered technical problems.

In this study, the development of elevator systems is explained in a historical perspective and their characteristic properties are examined. Communication systems with optical fibers and coaxial cables and wireless communication systems which use antennas in elevators are researched and communication data are analysed.

Keywords : Elevators, elevator engineering, smart buildings, optical fibers, coaxial cables, antennas and propagation

* Bu makale, 21-23 Mayıs 2010 tarihlerinde TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası ve Makina Mühendisleri Odası tarafından İzmir'de düzenlenen Asansör Sempozyumu'nda bildiri olarak sunulmuştur.

GİRİŞ

Dikey ve yatay olarak yük ve insan taşımada kullanılan asansörler, özellikle şehirleşmenin yoğun olduğu bölgelerde ve çok katlı binalarda kullanılmaktadır. Yüksek binalarda, insanların üst katlara ulaşabilmesi için kullanımı zorunlu hâle gelen asansörler, binaların ayrılmaz parçaları olmuştur. Asansörlerin olmadığı yerlerde, çok sayıdaki insanın barındığı yüksek yapıların ve gökdelenlerin kurulamayacağı ve birçok endüstri kolunun gelişemeyeceği açıktır. İnsan taşıyan asansörlerin yanında inşaatlarda ve fabrikalarda yük taşıyan asansörler de önemli bir hizmet vermektedir.

Asansörlerin, her geçen gün gelişen teknolojiye uygun olarak yapılması, inşaat mühendisliğinin yanı sıra makina, elektrik, elektronik, haberleşme, kontrol ve kumanda mühendisliğinin de konunun içinde yer almasını sağlamıştır. Asansör mühendisliğinde, disiplinler arasında işbirliğinin yapılması esastır. Asansör mühendisleri, binaya uygun olan düşey taşıma teknikleri ve iletişim sisteminin seçimi, trafik analizinin kontrolü ve tasarımı, asansör sisteminin montajı ve bakımından sorumludur.

Bu çalışmada, asansörün tarihsel gelişimi ve günümüzdeki kullanımını açıklanmıştır. İletişim sistemleri incelenmiş, kablolu ve kablosuz iletişim sistemlerinin karakteristik özellikleri dikkate alınarak düşey kaldırma tekniğinin kullanıldığı akıllı binalardaki asansörler analiz edilmiş ve verimi etkileyen faktörler irdelenerek elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

ASANSÖRÜN TARİHSEL GELİŞİMİ

Tarih boyunca ağır yükleri kaldırmak için makinalardan yararlanma yolları araştırılmış ve bu konuda zaman içinde önemli gelişmeler kaydedilmiştir. Arkeoloji alanındaki çalışmalarda, Roma İmparatorluğu zamanında iner - çıkar dolapların olduğu öğrenilmiştir. Ortaçağda bazı manastırlarda, hırsızların içeriye girememesi için basit bir çıkık yardımcıyla işletilen yük asansörüne benzeyen bir aletten yararlanıldığı bilinmektedir. 17. yüzyıldan itibaren İngiltere ve Fransa'da konuyla ilgili çalışmalar yapılmıştır.

19. yüzyılda bazı maden ocakları ve fabrikalarda, kömür ve gerekli maddelerin taşınmasında yük asansörleri kullanılmıştır. İnsanların can güvenliğini tehlikeye atmayan ve buhar gücü ile çalışan ilk asansörler, 19. yüzyıl ortalarında yapılmıştır. Bu asansörlerde, buhar makinası bir tamburu döndürmüş ve asansör kabinini çeken halat, tamburun üzerine sarılmıştır.

Düşey kaldırma sistemlerinin gelişimi, 19. yüzyılın ikinci yarısında hızlanmıştır. Henry Waterman, 1850 yılında New York'da buhar makinasıyla çalışan ve iki kat arasında gidip

gelen yük asansörünü yapmıştır. Elisha Gravers Otis, 1857 yılında insan taşıyan ve güvenlik önlemleri alınmış ilk asansörü New York'daki bir binaya kurmuştur.

Leon Edoux, 1867 yılında ilk güvenli hidrolik kaldırma sistemini gerçekleştirmiş ve bu sisteme asansör adını vermiştir. Werner von Siemens, 1880 yılında elektrikle işleyen asansörü insanlığın hizmetine sunmuş ve bu asansörler kısa zamanda yaygınlaşmıştır.

1870 - 1900 yılları arasında çoğunlukla hidrolik asansörler kullanılmıştır. Bu sistemde, yarısı yapının en üst katından yere kadar inen, diğer yarısı da temelin altında toprağa gömülü durumdaki çelikten yapılmış olan bir silindir, asansör boşluğunu oluşturmuştur. Asansörün kabini, bu silindirin içinde aşağı yukarı hareket eden bir çelik pistonun üzerine oturtulmuş ve silindire basınçlı su pompalandığı zaman asansör aşağıya inmiştir. 1890 yılından sonra elektrik motorları yaygınlaşmış ve hidrolik asansörlerin yerini elektrikli asansörler almıştır.

Günümüzde kullanılan asansörlerin çoğunluğunu oluşturan ve çekmeli tipte olan elektrikli asansörlerde, eski asansörlerde kullanılan halat sarmalı tambur sistemi, buhar makinası yerine elektrik motoruyla döndürülerek kullanılır. Bu asansörlerde, askı halatlarının bir ucuna asansör kabini, diğer ucuna da kabinin ağırlığını dengeleyen bir karşı ağırlık bağlanır. Askı halatlardan her biri, asansör boşluğunun tepesine yerleştirilmiş bir kasnağın ya da makaranın üzerindeki ayrı bir yive oturur. Elektrik motoruyla çalışan makara döndüğü zaman halatları hareket ettirir. Bu şekilde asansör bir yöne doğru yol alırken karşı ağırlık ters yönde hareket eder.

Modern asansörlerden bazıları da pistonlu ve elektrikli. Bu asansörlerin çalışma mantığı, eski hidrolik asansörlere benzer; aradaki fark, paslanmayı ve donmayı önlemek için su yerine yağ kullanılmasıdır. Silindirin içine elektrikli bir pompayla konulan yağ, elektrikli vanalara boşaltılır. Bu asansörler, çok yüksek olmayan yapılarda, özellikle ağır yüklerin kaldırılması için fabrikalarda ve uçak gemileri ile otomobil yıkama ve yağlama istasyonlarının yükseltici platformlarında kullanılır.

Günümüze kadar asansörlerde kullanılan çeşitli yiv profilleri ve yapım tarzları üzerinde çalışılmıştır. Son yarım yüzyıl içinde, işletme güvenliği, kullanma rahatlığı ve kolaylığını artırıcı yönde, elektrik, elektronik, kontrol, kumanda ve mekanik olarak büyük ilerlemeler kaydedilmiştir. Kasnak ve çekme kayışı olarak kullanılan polimer malzemeler, düşey kaldırma sistemlerinde önemli yer sahibi olmuştur. Asansörlerdeki yeniliklerden birisi de oldukça hafif olan alüminyum kabinlerin kullanımınıdır. Panoramik asansörler, özellikle çok yüksek binalarda tercih edilen teknolojiler arasında yer alır.

Kabinin çok hızlı inip çıkmasını sağlayan birçok güvenlik düzeneği ile donatılmış olan günümüzün asansörleri, verimli ve güvenilirdir. Çok sayıda asansörü olan yüksek yapılarıdaki bütün asansörler, yolcu trafiğine göre düzenlenecek biçimde programlanan bilgisayarlara bağlı otomasyon sistemi ile kumanda edilir.

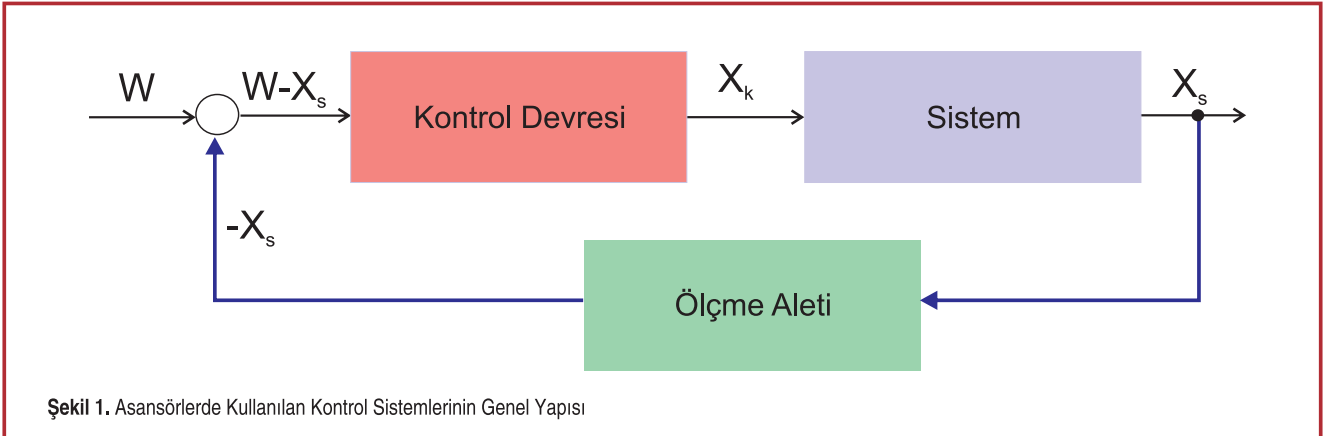
Günümüzde klasik kontrol sistemlerinin yanında bilgisayar teknolojisinin kullanıldığı kontrol sistemlerinde de çalışmalar yapılmaktadır. Asansör kontrolü ve simülasyonu konusunda yapılan çalışmalarda, yapay sinir ağları, bulanık mantık, genetik algoritmaları ve kontrol algoritmalarından yararlanılmaktadır. Bu çalışmalarla asansör performansını belirleyen ortalama bekleme zamanının azaltılması hedeflenmektedir. Yapay zeka çalışmaları yardımıyla asansör kontrol sistemlerinin, günümüzdeki asansör sistemlerine göre daha zeki, öğrenme yeteneğine sahip ve bekleme zamanını minimum hâle getirecek sistemler olması beklenmektedir [1-4].

bağımsız olarak gerçekleştirilmesi, kullanım rahatlığı sağlar.

ASANSÖRDEKİ İLETİŞİM SİSTEMLERİ

Asansör sisteminin temel elemanı olan asansör kabini, raylar yardımıyla hareket eder. Asansör kabini, binanın tepesinde bulunan motora bağlanır. Asansör kabininin hızı, kullanılan motorun hızıyla, motorun hızı ise şebeke frekansıyla bağlantılıdır. Motor, PLC (Programmable Logic Controller, Programlanabilir Lojik Kontrol Birimi) ve mikrodenetleyici tarafından kontrol edilir. Asansör kabininden gelen bilgiler, kablo yardımıyla PLC'ye gider ve buradaki lojik işlemlerden geçerek mikrodenetleyiciye ulaşır. Mikrodenetleyici, bu bilgileri değerlendirir ve sıraya koyar. Asansör kabininin hangi katta duracağı, bu sıralamaya göre belirlenir.

Asansörlerin, düşey taşıma tekniklerinin kullanıldığı, insan ve yük taşımacılığında yararlanan sistemler olarak hızlı ve daha da önemlisi güvenilir bir biçimde çalışmaları hedeflenir. Şekil 1'de asansörlerde kullanılan kontrol sistemlerinin genel yapısı



Şekil 1. Asansörlerde Kullanılan Kontrol Sistemlerinin Genel Yapısı

İLETİŞİM SİSTEMLERİ

İletişim sistemleri, kablolu iletişim ve kablosuz iletişim olmak üzere iki ana başlık altında incelenir. Kablolu iletişimde, iletim ortamı olarak, bakır kablo, koaksiyel kablo ve optik fiber kullanılır. Optik fiberler, iletim kaybının azlığı ve band genişliğinin büyüklüğüne bağlı olarak kapasitesinin fazlalığı, hammaddesi olan silisyumun doğada bol miktarda bulunması, elektromagnetik olaylardan etkilenmemesi, az yer kaplaması, güvenilirliği ve maliyetinin düşüklüğü nedeniyle tercih edilen iletim ortamlarıdır. Veri iletimi, telefon ağları, kablolu televizyon sistemleri, entegre optik düzenekler, ulaşım, tıp ve askeri uygulamalar gibi birçok alanda optik iletişim tekniklerinden yararlanılır.

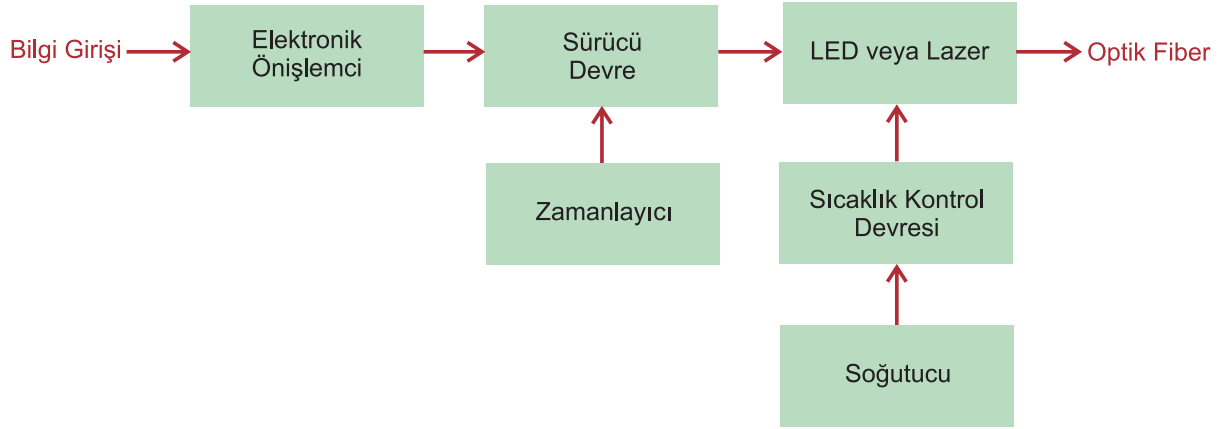
Kablosuz iletişimde, iletim ortamı serbest uzaydır ve temel elemanlar, hem verici, hem de alıcı olarak çalışan antenlerdir. Kablosuz iletişimdeki iletim kaybı, optik iletişimdeki iletim kaybından daha fazla olmakla birlikte, iletişimin, kablodan

görülmektedir. Burada, W , bilgi işaretini, X_k , kontrol devresinin çıkışındaki işareti ve X_s ise sistemin çıkışındaki işareti göstermektedir.

Kablolu İletişim

Bu bölümde, kablolu iletişim teknikleri arasında yer alan optik iletişim incelenmiştir. Optik iletişim sistemleri, verici, veri iletiminin gerçekleştirildiği optik fiber ve alıcı olmak üzere üç ana bölümden meydana gelir. Şekil 2'de optik haberleşme sisteminin verici katı yer almaktadır. Burada, elektronik önilemci ve zamanlayıcı ile desteklenen sürücü devreden geçen bilgi işareti, sistemin kaynağı olan LED veya lazerden sonra optik fiberden iletilir. LED veya lazerin ısınmaya karşı korunması için sıcaklık kontrol devresi ve soğutucu kullanılır. Günümüzde, kaynak olarak genellikle indiyum, alüminyum, galyum ve arsenitten yapılan üç veya dört jonksiyonlu yarıiletken lazerler kullanılmaktadır.

Optik haberleşme sistemlerinde kullanılan alıcı katının blok



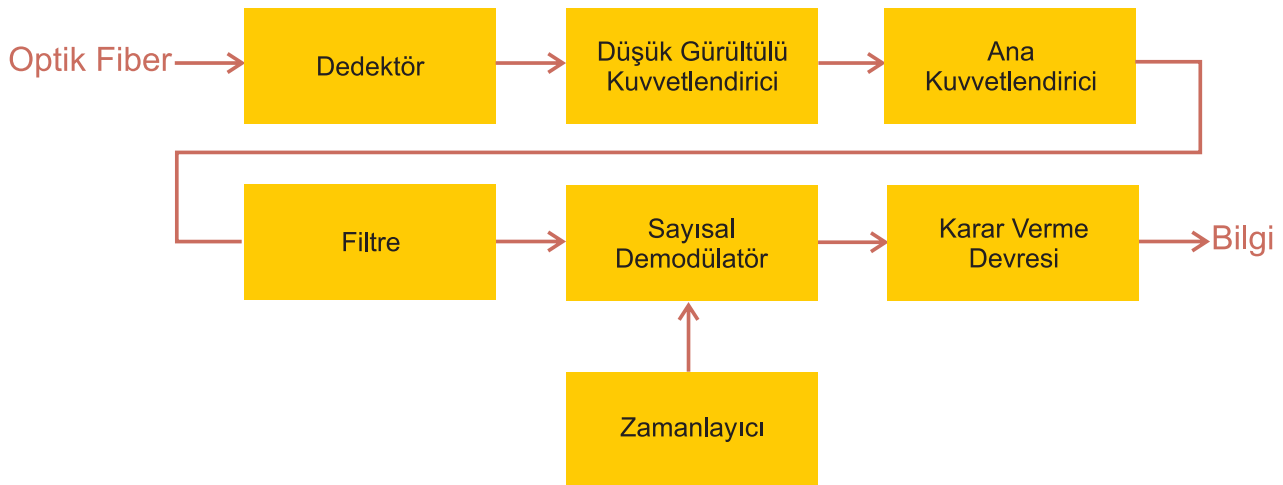
Şekil 2. Optik İletişim Sistemlerinde Kullanılan Vericinin Blok Diyagramı

diyagramı Şekil 3'te görülmektedir. Burada, optik fiberden gelen işaret, sırasıyla dedektör, düşük gürültülü kuvvetlendirici ve ana kuvvetlendiricide işlenir, filtre edilir ve zamanlayıcı ile kontrol edilen sayısal demodülatörün ardından karar verme devresinde değerlendirilerek bilgi işareti olarak alıcıya ulaşır.

Optik iletişim sistemlerinde veri kalitesini etkileyen faktörler, dispersiyon ve zayıflama başlıkları altında toplanır. Dispersiyon, ışık işaretinin, optik fiber boyunca bozulmasıdır ve zaman domeninde impuls yanıtı, frekans domeninde ise faz gecikmesi ile tanımlanır. Optik haberleşme sistemlerinin tasarlanması sırasında göz ardı edilmemesi gereken dispersiyon, modülasyon frekansı, kullanılan kaynağın dalgaboyu ve optik fiberin uzunluğu gibi faktörlerle değişebilir.

Dispersiyon, dalga kılavuzu dispersiyonu, modal dispersiyon ve malzeme dispersiyonu olmak üzere üç ana konuyu içerir. Dalga kılavuzu dispersiyonu, optik fiberde iletilen bir modun içinde farklı frekanstaki bileşenlerin farklı biçimde iletilmesi sonucunda meydana gelir. Optik fiberde iletilen modların grup hızlarının farklılığına bağlı olarak modların alıcıya ulaşmaları için gerekli olan zaman farklı olduğundan, modal dispersiyonun oluşumu söz konusudur. Modal dispersiyon, basamak indisli optik fiberlerde çok önemli iken, yumuşak geçişli optik fiberlerde, grup hızı farklılıkları dengelendiği için çok daha az önem taşır. Malzeme dispersiyonu ise, optik fiberin yapıldığı camın yapısından kaynaklanır.

Kayıp nedenlerinin ikincisi olan zayıflama, işaret gücünün, optik fiber boyunca azalmasıdır. Soğurma (absorbsiyon), saçılma, dalga kılavuzu saçılması, bağlantı ve bükülme



Şekil 3. Optik İletişim Sistemlerinde Kullanılan Alıcının Blok Diyagramı

kayıplarının yanı sıra optik fiberin giriş ve çıkışında meydana gelen kuplaj kayıpları da söz konusudur.

Soğurma, ışık enerjisinin ısıya dönüşmesidir. Optik fiberlerde, soğurma mekanizmasında, asal soğurma, yabancı madde soğurması ve atomik bozukluk kayıpları rol oynar.

Saçılma kayıpları, camı meydana getiren moleküller arasındaki süreksizliklerden kaynaklanır. Elektromagnetik dalganın bu süreksizliklerden saçılmasına Rayleigh saçılması adı verilir.

Optik fiberdeki pertürbasyonlar, üretim sırasında meydana gelir ve iletilen modlar arasında etkileşime yol açarak dalga kılavuzu saçılmasına neden olur.

Optik haberleşme sistemlerinde, açılır - kapanır ekler, bir başka ifadeyle konnektörler ile *splice* olarak isimlendirilen sabit eklerin yapılmaları sırasındaki hatalar nedeniyle meydana gelen kayıp, bağlantı kaybı olarak bilinir. Optik fiberlerin eklenmesi sırasında, optik fiber çekirdeklerinin karşı karşıya getirilirken, yüzeylerin düzgün olmaması, optik fiberlerin eksenlerinde kayma olması ve optik fiberlerin kırılma indislerinin farklı olması gibi nedenlerden dolayı kayıp meydana gelir.

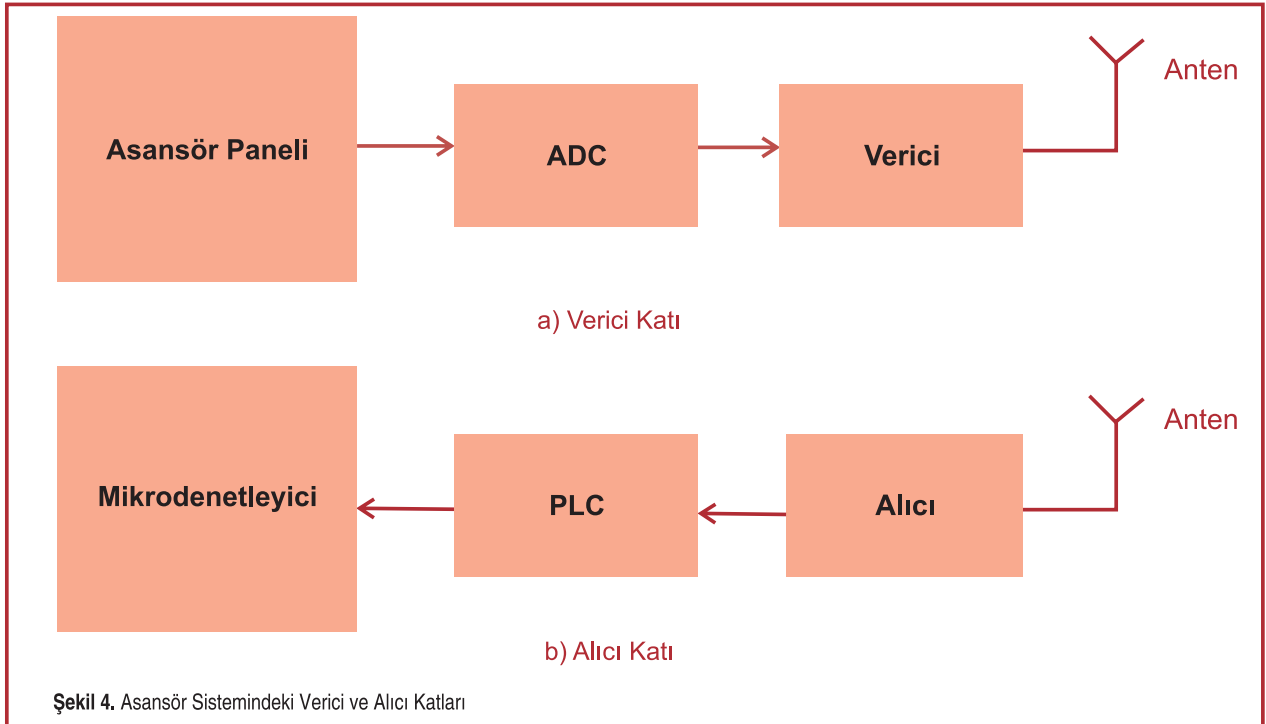
Optik fiber ekseni doğrusal değilse, düz optik fiber içinde elde edilen elektromagnetik alan bağıntıları geçersiz olur. Bükülmüş optik fiberin eğrilik merkezinden uzaklaştıkça faz hızı artar ve bu hız, ışımaya kostiğinde, dış ortamdaki düzlem dalga hızına eşit olur; bu uzaklıkta, elektromagnetik dalga, dış

ortama doğru ışımaya yapar ve kayıp meydana gelir; bu kayıp, bükülme kaybı olarak yorumlanır. Eğrilik yarıçapı küçültüldükçe, yüksek dereceli modlar, hızla zayıflarken, dominant olan ilk veya ilk birkaç mod ise bükülme bölgesi sonunda da kılavuzlanmış kalacağı için fazla etkilenmez [5].

Kablosuz İletişim

Bu bölümde, akıllı binalardaki asansör sistemlerinde kullanılacak kablosuz iletişim sistemi analiz edilmiştir. Asansör kabininde ve binadaki merkezi birimde, ayrıca kullanıcıların isteğine bağlı olarak binanın her katında ve bina dışında uygun görülen bir yerde kurulacak kablosuz iletişim birimleriyle kabin içindeki kişilerin kabin dışındaki kişilerle bağlantı kurmalarını sağlayan sistem modellenmiştir.

Asansör sisteminde meydana gelecek arıza durumunda, söz konusu kablosuz iletişim birimlerinin yer aldığı yerlerdeki kişilerin konudan haberdar olmaları ve çözüm bulmaları gündeme gelir. Asansör panelinde açma - kapama düğmesi kullanılarak antenin verici ve alıcı olarak kullanılması sağlanır. Şekil 4'te, asansör sistemindeki verici ve alıcı katları bulunmaktadır. Sistemin verici katında, asansör panelinden gelen analog işaret, ADC (Analog to Digital Converter, Analogdan Sayısal Dönüştürücü) ile sayısal işarete dönüştürülür ve verici biriminden geçerek anten yardımıyla alıcı antene gönderilir. Sistemin alıcı katında ise, verici katından gelen işaret, anten ile alınır, alıcı biriminin ardından önce PLC, sonra da mikrodenetleyicide değerlendirilir ve asansör sistemindeki sorun çözülmeye çalışılır. Asansör paneli



Şekil 4. Asansör Sistemindeki Verici ve Alıcı Katları

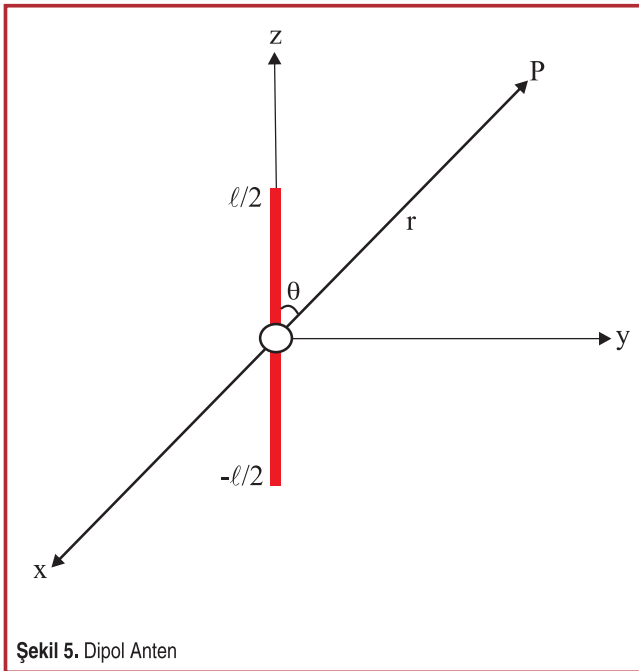
ile alıcı katındaki mikrofon ve hoparlör sistemi yardımıyla ses iletişimi sağlanır.

Bu bölümde, asansör sisteminin iletişim boyutunu meydana getiren anten ve propagasyon bilgileri incelenmiştir. Sistemdeki 2.4 GHz frekansında çalışan yarım dalga dipol anten ve propagasyonu irdelenmiştir [6-8]. 2.25 (inch) (=5.715 (cm)) uzunluğunda, lineer düşey polarizasyonlu, 50 (Ω)'luk empedansı olan anten ele alınmıştır. Antenin dalgaboyuna göre boyu, $\frac{\ell}{\lambda} = 0.4572$ 'dir. Bu değer, modellemede 0.5 olarak alınarak, antenin yarım dalga dipol anten olduğu kabul edilmiştir. Yüksek frekanslarda anten boyunun küçük olması, antenin az yer kaplaması bakımından önemli bir avantajdır.

Sistemde kullanılan dipol anten Şekil 5'te yer almaktadır. Ortasından beslenmiş ℓ boyundaki dipol antenin P noktasındaki elektrik alan bağıntısı,

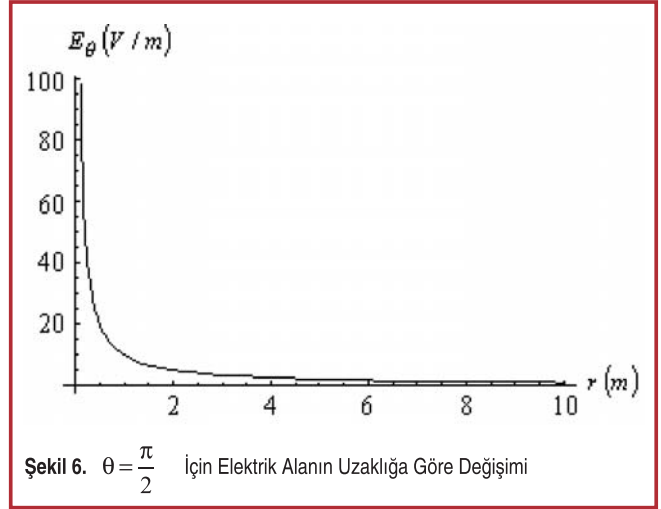
$$|E_{\theta}| = 60 \frac{I_m}{r} \frac{\cos\left(\frac{\pi}{2} \cos\theta\right)}{\sin\theta} \quad (1)$$

olarak ifade edilir.



Şekil 5. Dipol Anten

Elektrik alan, maksimum değerine $\theta = \frac{\pi}{2}$ 'de ulaşır. Bu θ değeri ve $|I_m| = 0.164$ (A) değeri için E_{θ} 'nın r uzaklığına göre değişimi, Şekil 6'da görülmektedir.



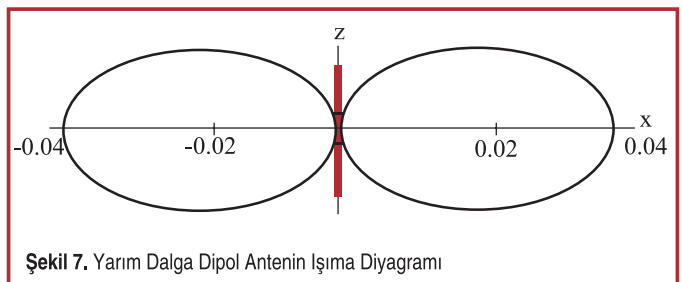
Şekil 6. $\theta = \frac{\pi}{2}$ için Elektrik Alanın Uzaklığa Göre Değişimi

Yarım dalga dipol anten için ortalama güç yoğunluğu, Poynting vektörü ve (1) eşitliği kullanılarak,

$$P_r = \frac{15 I_m^2}{\pi r^2 \sin^2\theta} \left[\cos\left(\frac{\pi}{2} \cos\theta\right) \right]^2 \quad (2)$$

formunda elde edilir.

Yarım dalga dipol antenin yarım güç huzme genişliği, (2) eşitliğinde yer alan ortalama güç yoğunluğu yardımıyla bulunur. Gücün maksimum değerinin yarıya düştüğü doğrultular arasındaki açı yarım güç huzme genişliğini verir; bu değer, yarım dalga dipol anten için 78° 'dir. Şekil 7'deki antenin ışınma diyagramından, maksimum ışınımın $\theta = \frac{\pi}{2}$ 'de olduğu görülmektedir.



Şekil 7. Yarım Dalga Dipol Anteninin Işınma Diyagramı

Yarım dalga dipol antenden ışınan toplam güç,

$$W_T = 15 I_m^2 C \text{ in } (2\pi) \quad (3)$$

eşitliği yardımıyla $W_T = 0.98 \cong 1$ (W) olarak elde edilir.

Antenin verimi,

$$e = \frac{R_{i\theta}}{R_{i\theta} + R_k} \quad (4)$$

eşitliği ile bulunur. Burada, $R_{i\delta}$, antenin ışıma direnci, R_k ise antenin kayıp direncidir. Yarım dalga dipol antenin ışıma direnci, $R_{i\delta}=73.11 (\Omega)$ olduğuna göre, verimin hesaplanmasında antenin kayıp direncinin bulunması gerekir. Antenin kayıp direnci,

$$R_k = \frac{\ell}{\sigma 2\pi a \delta} \quad (5)$$

dır. Burada, σ , antenin iletkenliğini, a , antenin yarıçapını ve δ ise etkin derinliği ifade eder. μ , antenin bulunduğu ortamın magnetik geçirgenliği ve ω , açısal frekans olmak üzere etkin derinlik,

$$\delta = \left(\frac{2}{\omega \mu \sigma} \right)^{1/2} \quad (6)$$

formundadır. Bu durumda, bu çalışmada analiz edilen alüminyumdan yapılmış olan 2.25 (inch) (=5.715 (cm)) uzunluğunda ve 5 (mm) yarıçapındaki yarım dalga dipol antenin verimi, alüminyumun iletkenliği olan $\sigma = 4 \times 10^7$ (S/m) değeri dikkate alınarak, % 99.9 olarak elde edilir ve antenin yapımında kullanılan alüminyumun uygun bir malzeme olduğu görülür.

SONUÇLAR

Bu çalışmada, günümüz teknolojileri içinde önemli bir yerde bulunan asansör sistemleri ele alınmış ve asansörlerde kullanılan iletişim teknolojileri incelenmiştir. Kablolu ve kablosuz iletişim teknolojilerinin karakteristik özellikleri irdelenmiştir.

Kablolu iletişim tekniklerinden optik iletişimde, dispersiyon ve zayıflamanın, veri kalitesi üzerindeki etkileri açıklanmıştır. Kablosuz iletişim modelinde, dipol antenin propagasyon analizi yapılmış ve elektromagnetik özellikleri değerlendirilmiştir. Modellemede kullanılan dipol antenin gücünün maksimum değerine $\theta = \frac{\pi}{2}$ 'de ulaştığı ve fiziksel mekanizmanın sonucu olarak, kaynaktan uzaklaştıkça gücün azaldığı görülmüştür. Antenin, % 99.9 verimle çalıştığı belirlenmiştir.

SEMBOLLER

a	: Antenin yarıçapı
e	: Antenin verimi
E_θ	: Elektrik alanın θ bileşeni
I_m	: Antenden akan akımın maksimum değeri
ℓ	: Antenin boyu
P	: İnceleme noktası
P_r	: Poynting vektörünün r bileşeni
r	: Kaynak ile inceleme noktası arasındaki uzaklık
$R_{i\delta}$: Antenin ışıma direnci
R_k	: Antenin kayıp direnci
W_T	: Antenden ışınan toplam güç
δ	: Etkin derinlik
θ	: İnceleme noktasının z doğrultusu ile yaptığı açı
λ	: Dalgaboyu
μ	: Magnetik geçirgenlik (permeabilite)
σ	: Antenin iletkenliği
ω	: Açısal frekans

KAYNAKÇA

1. **Strakosch, G. R.** 1998. The Vertical Transportation Handbook, ISBN: 0-471-16291-4, John Wiley & Sons Inc., New York.
2. **Barney, G.** 2003. Elevator Traffic Handbook, Theory and Practice, ISBN: 0-415-27476-1, Spon Press, New York.
3. **Barney, G. C., Loher, AG.** 1990. Elevator Electric Drives, ISBN: 0-13-261462-6, Ellis Horwood Limited, West Sussex.
4. **Bangash, M. Y. H., Bangash, T.** 2006. Lifts, Elevators, Escalators and Moving Walkways / Travelators, ISBN: 0-415-36437-X, A. A. Balkema, Leiden, New York.
5. **Snyder, A. W., Love, J. D.** 1983. Optical Waveguide Theory, ISBN: 0-412-09950-0, J. W. Arrowsmith Ltd., Bristol, Great Britain.
6. **Cheng, D. K.** 1983. Field and Wave Electromagnetics, ISBN: 0-201-10132-7, Addison-Wesley Publishing Company, Massachusetts.
7. **Balanis, C. A.** 1989. Advanced Engineering Electromagnetics, ISBN: 0-471-50316-9, John Wiley & Sons Inc., New York.
8. **Balanis, C. A.** 1997. Antenna Theory, ISBN: 0-471-59268-4, John Wiley & Sons Inc., New York.