

HAVA, SU VE GAZ DAĞITIM SİSTEMLERİNDE BAKIR BORU KULLANIMI VE YAŞAM KALİTESİ ÜZERİNE ETKİSİ

A.Gamze ONUK

ÖZET

İnsanoğlunun artan yaşam gereksinimleri ile birlikte, yaşam kalitesi beklentileri de her geçen gün artmaktadır. Özellikle hava, su ve besin kaynaklarını taşıyan sistemler, bu kaynakların elde edilme şekli kadar önem taşımaktadır. Teknolojinin gelişimi ile depolama ve taşıma sistemlerinin tasarımında yeni malzemeler kullanılsa da bakır bugün bilinen ve halen kullanılan en eski malzeme olarak karşımıza çıkmaktadır. Bakır metali doğası gereği istenmeyen bakteri ve virüslerin oluşumuna engel olmaktadır. Bu özelliğinin yanı sıra günümüzde yapılan araştırmalar düşük oranlardaki bakırın (2 mg/gün) insan sağlığı için gerekli olduğunu sayısal veriler ile de ispat etmektedir. Ayrıca Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ve Avrupa Bakır Enstitüsü gibi uluslar arası kurumlar tarafından yapılan araştırmalar da bu bilgiyi desteklemektedir. Bugün günlük yaşamımızda iç hava kalitesi sağlama amaçlı havalandırma, iklimlendirme, ısıtma - soğutma ve buhar taşıma sistemleri, hastane tesisatları ile medikal gaz ve diğer gaz (LPG, LNG, CNG ve doğal gaz) taşıma sistemlerinin tasarımlarında bakır boru kullanılmaktadır. Aynı zamanda insan sağlığı ile doğrudan etkili olan içme suyu tesisatlarında, depolama alanlarında, havuz ve filtrasyon sistemlerinde de tercih edilmektedir.

Bu çalışmada; hava, su ve gaz dağıtım sistemleri tasarımlarında bakır borunun kullanım yerleri nedenleri ve avantajları ile birlikte ele alınmaktadır. Ayrıca bakır boru kullanımının yaşam kalitesi üzerindeki etkileri de sayısal veriler ile açıklanmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Bakır Boru, Bakır Sıhhi Tesisat, Biyofilm Oluşumu, Gaz Dağıtım Sistemleri, Havalandırma, İklimlendirme, Lejyoner Hastalığı, Su Dağıtım Sistemleri.

ABSTRACT

Life expectations of human being are increasing with requirements of life in day by day. Especially, air, water and food carriage systems are as important as production of these resources. Even using new generation materials with the development of technology, copper is the oldest and the best known material for this systems. Due to the nature of copper metal, it protects the water from formation of undesirable bacteria and viruses. In addition to this feature, today's researches show that the daily requirement of balancing copper in body is about 2 mg of copper intake per a day and these information can be supported with datas by World Health Organization (WHO) and European Copper Institue. In these days, copper tube can be used design of air conditioning, heating and cooling and vapor transportation systems, hospital systems, medical gas and other gas (LPG, LNG, CNG and natural gas) systems. In addition these applications, copper can be preferred as a distribution of drinking water systems, storage areas, pool and filtration systems.

The aim of this paper is to introduce the using causes of copper tube in design of air, water and gas distribution systems with its advantages. In addition, this study explains effects of using copper tube on life quality with some numeric datas.

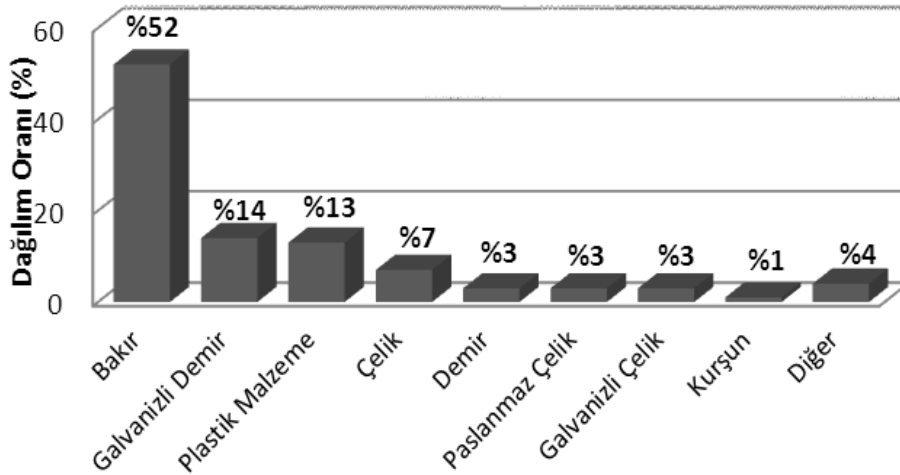
Key Words: Air Conditioning, Biofilm Formation, Copper Plumbing Systems, Copper Tube, Gas Distribution Systems, Legionnaires' Disease, Water Distribution Systems,

1. GİRİŞ

Bakır insanoğlunun kullandığı bilinen en eski malzemedir. Tarihsel süreçte farklı alanlardaki kullanımlarının (ev yapı malzemesi, dekorasyon amaçlı uygulamalar) yanı sıra eski Mısırlılar'dan Romalılar'a kadar birçok uygarlıkta yaklaşık 7000 yıldan bu yana kullanılmıştır. MÖ 4500 yıllarında süs amaçlı, MÖ 2750'lerde ise tesisat amaçlı başta su olukları olmak üzere su boruları ve sarnıçlarında yaygın olarak kullanılmıştır. 20.yy'ın başlarında ise avantajlı bir materyal olması sebebi ile su tesisatlarında yaygın olarak tercih edilmiştir. Korozyon direncinin iyi olması, servis imkanlarının fazlalığı ve bakım kolaylığı gibi üstünlüklerine karşın pahalı bir malzeme oluşu ise halka açık binalardaki kullanımının kısıtlanmasına neden olmuştur. Teknolojinin gelişmesi 1930'larda bina tesisatlarında özellikle de bakır tesisatlarında gelişmeleri de beraberinde getirmiştir. Özellikle tesisatlarda kullanılan bakır boruların duvar kalınlıklarının %50-75 oranlarında azaltılması ve tesisat tasarımlarındaki çeşitli yeni uygulamalar bakır tesisatı maliyetlerinin de azalmasını sağlamıştır. 1940'lardan bu yana ise bakır gelişmiş ülkelerde seçkin bir tesisat malzemesi olmuştur. Günlük yaşamımızda iç hava kalitesi sağlama amaçlı havalandırma, ısıtma ve soğutma gibi iklimlendirme sistemleri ile buhar taşıma sistemleri, hastane tesisatları, medikal gaz ve diğer gaz taşıma tesisatlarının tasarımlarında bakır boru kullanılmaktadır. Aynı zamanda insan sağlığı ile doğrudan ilişkili olan içme suyu tesisatlarında, depolama alanlarında, havuz ve filtrasyon sistemlerinde de tercih edilmektedir [1].

2. TESİSATTAKI BAKIR BORU KULLANIMI

Günümüzde hava, su ve gaz dağıtım amaçlı kullanılan tesisat malzemeleri metalik ve polimerik esaslı olmak üzere çeşitlilik gösterir. En yaygın kullanılan malzemeler bakır, galvanizli demir ve polietilen (PE) gibi plastik esaslı malzemelerdir. Şekil 1'de tesisatta kullanılan malzemelerin kullanım oranlarına göre yüzde dağılımları verilmiştir [2].



Şekil 1. Tesisat amaçlı kullanılan malzemelerin yüzde dağılımları [2].

Soğutma ve iklimlendirme amaçlı bakır borular %99,90 Cu ve %0,015-0,040 P içeren Cu-DHP malzemedir yumuşak ve sert çekilmiş özelliklerde kullanılmaktadır. ASTM B280, ASTM B68, ASTM B88, EN 1057, EN 12735 ve EN 12449 normlarındaki standart spesifikasyonları içeren bakır boruların başlıca kullanım alanları:

- İçme suyu tesisatları,
- Sıcak ve soğuk içeren sıhhi tesisatlar,
- Depolama tankları,

- Sıhhi atık su drenajı,
- Radyatör ve konvektör gibi ıslak merkezi ısıtma sistemleri,
- Yerden ısıtma sistemleri,
- Isıtma ve pişirme amaçlı gaz sistemleri,
- Tıbbi gaz taşınımı sistemleri,
- Soğutucu akışkan devreleri,
- Isıtma amaçlı yağ sistemleri,
- Yakıt ve gaz tesisatları olarak özetlenebilir [2,3].

3. BAKIR BORUNUN KULLANIM AVANTAJLARI

Bakır borular bugün başta içme suyu tesisatları olmak üzere yakıt ve gaz tesisatlarına kadar birçok alanda tercih edilmektedir. Bu tesisatlardan beklenen güvenilirliği, kullanım kolaylığı, mekanik özellikleri, fiziksel özellikleri ve antibakteriyel özellikleri karşılayabilmektedir. Şekil 2’de iklimlendirme sektöründe kullanılan farklı formlardaki bakır borulara örnekler verilmiştir.

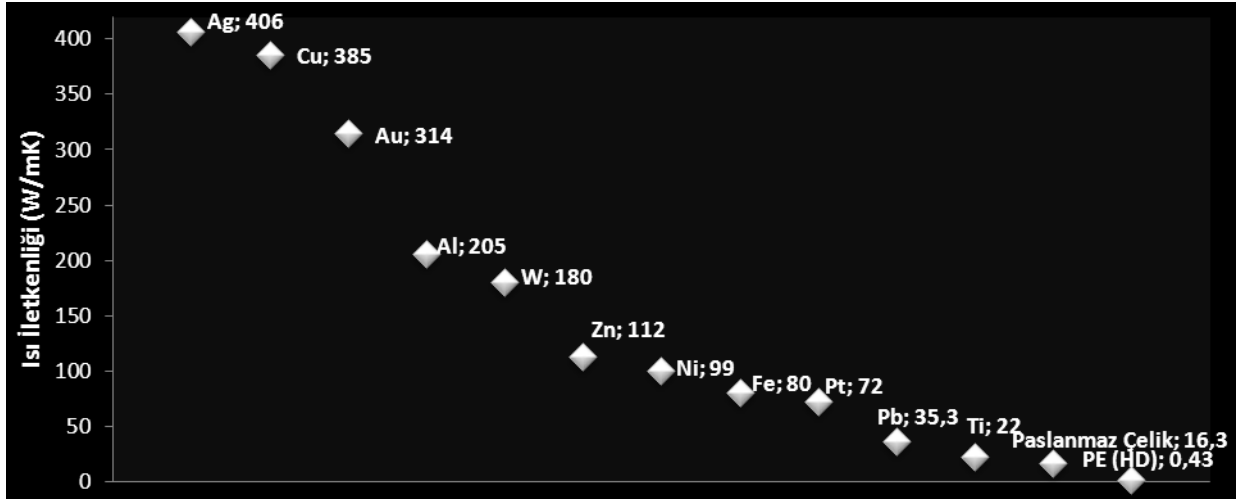
Bakırın fiziksel ve mekanik özelliklerindeki üstünlükleri oldukça fazladır. Buna paralel olarak bakır boruların da yapısal olarak mekanik dayanımının fazla olması basınca maruz kalması halinde güvenilir bir şekilde kullanılmasını sağlar. Farklı sıcaklıklarda tavlı, yarı tavlı veya sert olarak kullanılması halinde geniş basınç varyasyonlarında ve yüksek basınçlara kadar sızdırmazlık özelliği gösterir. Bakır boruların iç yüzey pürüzlüğü plastik, galvanizli ve demir esaslı malzemelere kıyasla daha düşüktür. Yüzey pürüzlüğünün düşük olması sürtünme katsayısının da düşük olmasını beraberinde getirir ve bu sayede tesisatlarda meydana gelen basınç ve enerji kayıpları da nispeten daha düşük olur. Yüksek basınç değerlerinde çalışılması için çapların küçültülmesi halinde basınç kayıpları minimum seviyelere indirgenebilir. Tesisat işlemleri sırasındaki lehimleme ve uyarılama etkinliği sayesinde basınç kayıpları %60 oranında önlenir.



Şekil 2. İklimlendirme sektöründe kullanılan farklı formlardaki bakır borulara örnekler

Isıya olan dayanımı ile oluşabilecek yangın gibi afet durumlarında da dayanım gösterir. Kısmi olarak her ne kadar diğer malzemeler gibi korozyona uğrasa bile korozyon direnci açısından üstünlük gösterir. Sıcaklık değişimlerinin olduğu sistemlerde malzemeler genleşme ve daralma etkisi gösterebilirler. Ancak bakır borular sıcaklığa bağlı olarak kullanıldıkları tesisatlarda güvenilirdir ve binalarlarda kullanılan beton gibi yapı malzemelerinin genleşme katsayılarına yakın genleşme değerlerinde oldukları için tesisata oldukça uyurlanabilir [1,3,4].

Isıl iletkenlik değerlerine göre bakır gümüşten sonra ikinci sırada gelmektedir. Tesisat amaçlı kullanılan paslanmaz çelik, polietilen (PE-HD), demir ve kurşundan daha yüksek ısı iletkenliğine sahip olup ısı iletiminde avantajlıdır ve sistemlerde enerji verimliliğini sağlar. Şekil 3’de metallerin ve polietilen malzemelerin ısı iletkenlik değerleri verilmiştir.



Şekil 3. Metallerin ve polietilen malzemelerin ısı iletkenlik değerleri [5,6].

Bakırın antibakteriyel özelliği doğal olarak saflaştırma etkisi ile bakteri ve virüsleri yok ederek zararlı oluşumları kontrol edici özelliktedir. Bugün yapılan araştırmalar ile Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ve Avrupa Bakır Enstitüsü gibi uluslararası kurumlarca bakırın antimikrobiyel olduğu bilinmektedir. [1,7] E.coli 0157:H7, methicillin-resistant staphylococcus aureus (MRSA), staphylococcus, clostridium difficile, influenza A-virus, adenovirus ve mantar oluşumlarını önlediği son 10 yılda yapılan araştırmalarda ayrıca görülmüştür [8].

Bakır malzemesinin kolay şekil alabilir özelliği çalışma kolaylığı sağlar, tesisatlardaki karmaşık sistemlere dahi uygulanabilir. Buna bağlı olarak uygulayıcı niteliğinin çok kapasiteli olmasına ihtiyaç duyulmadan hava, su ve gaz sistemlerinde kurulumu kolay profesyonel bir malzemedir.

Bakırın diğer tesisat malzemeleri ile kıyaslandığında pahalı bir malzeme olduğu bilinmektedir. Buna karşın uzun servis ömrü, küçük çaplarda ve duvar kalınlıklarında kullanılabilirliği, enerji verimliliği, tesisat ve bakım maliyetlerinin az olması tesisat maliyetlerini düşürücü yönde olumlu etkisi vardır. Tesisatların uzun ömürlü olması ve bakım maliyetlerinin düşük olması bakır dışındaki malzemelerle kurulan tesisatlardan daha pratiktir. Bu nedenle bakır pahalı bir malzeme olarak gözükmese rağmen uzun vadede ekonomiktir.

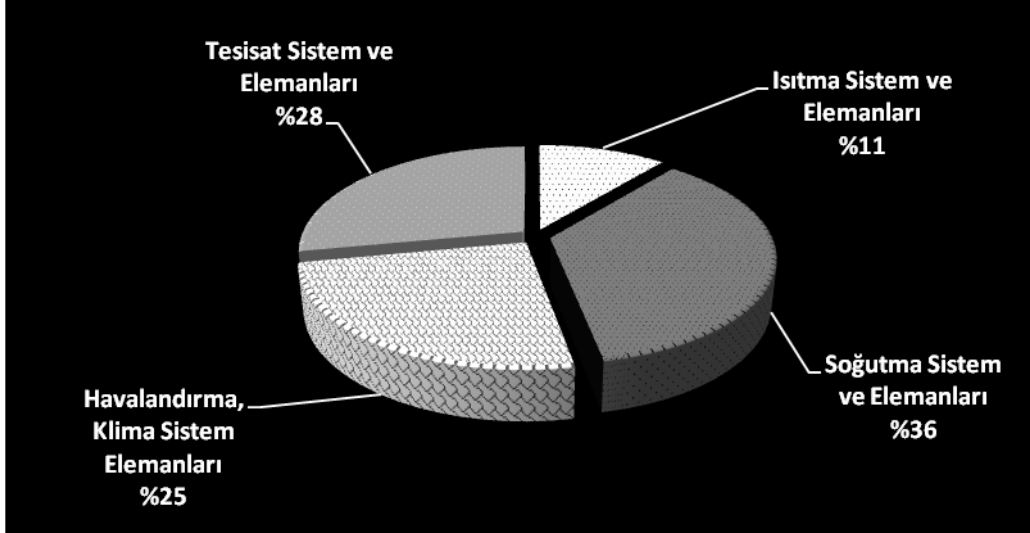
Korozyona dayanımı, kullanım kolaylığı, basınca dayanımı, ısı iletkenliğindeki üstünlüğü, düşük sürtünme katsayısı, genleşme oranının yapı malzemesi olarak kullanıma uygun olması, sızdırmazlık özelliği, sağlamlığı ve yangına dayanımı gibi özelliklerine ek olarak çevre duyarlı ve estetik bir malzemedir. Diğer plastik ve kompozit esaslı malzemelerle kıyaslandığında doğadan gelen kompleks olmayan bir kimyası vardır. Bu sayede %100 geri dönüşümlüdür. Estetik açıdan ise bugün birçok tasarım malzemesinde dahi bakır tercih edilebilmektedir [5].

4. BAKIR BORUNUN EKONOMİDEKİ YERİ

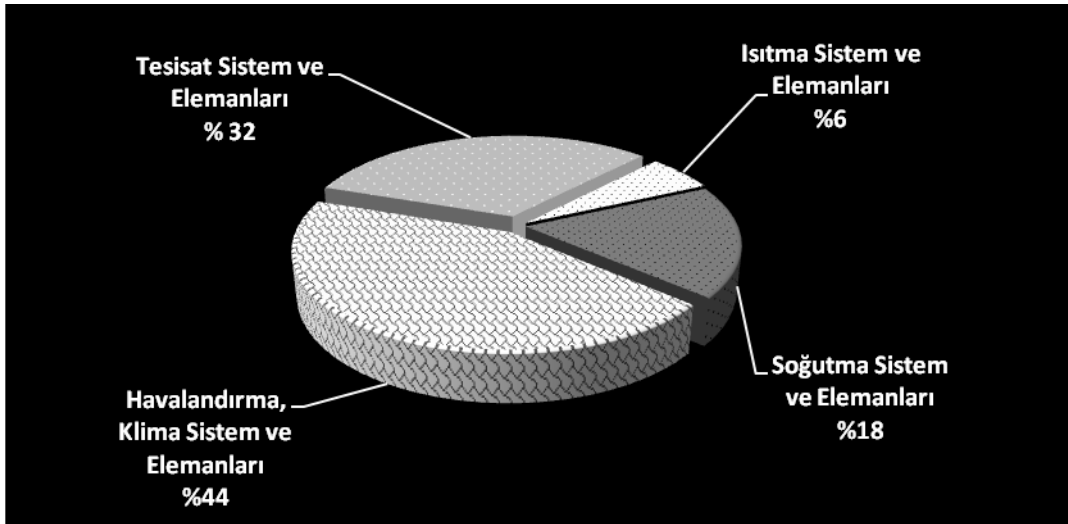
Bakır boruların en çok kullanıldığı sektör iklimlendirme sektörüdür. Bu sektör başta ısıtma sistemleri olmak üzere soğutma sistemleri, havalandırma ve klima sistemleri ile tesisat sistemlerini içermektedir. Beyaz eşyadan, klima parçalarına ve tesisat malzemelerine kadar geniş ürün yelpazesinesahip bu grupta bakır boruların kullanıldığı yaşam kalitemizi etkileyen birçok ürün yer almaktadır.

2011 yılına ait veriler iklimlendirme alanında ihracat hacminin %3,5 ve ithalat hacminin %3,0 olmak üzere toplam hacmin %3,0 olduğunu göstermektedir iklimlendirme sektörüne ait havalandırma ve klima sistemleri elemanlarının %36, tesisat sistemi elemanlarının %30, soğutma sistemi elemanlarının

%25 ve ısıtma sistemi elemanlarının ait parçalar için %9 oranlarında hacimsel olarak ekonomimizde yer almaktadır [9]. Şekil 4 ve Şekil 5'de Türkiye ihracat ve ithalat hacim oranları verilmiştir.



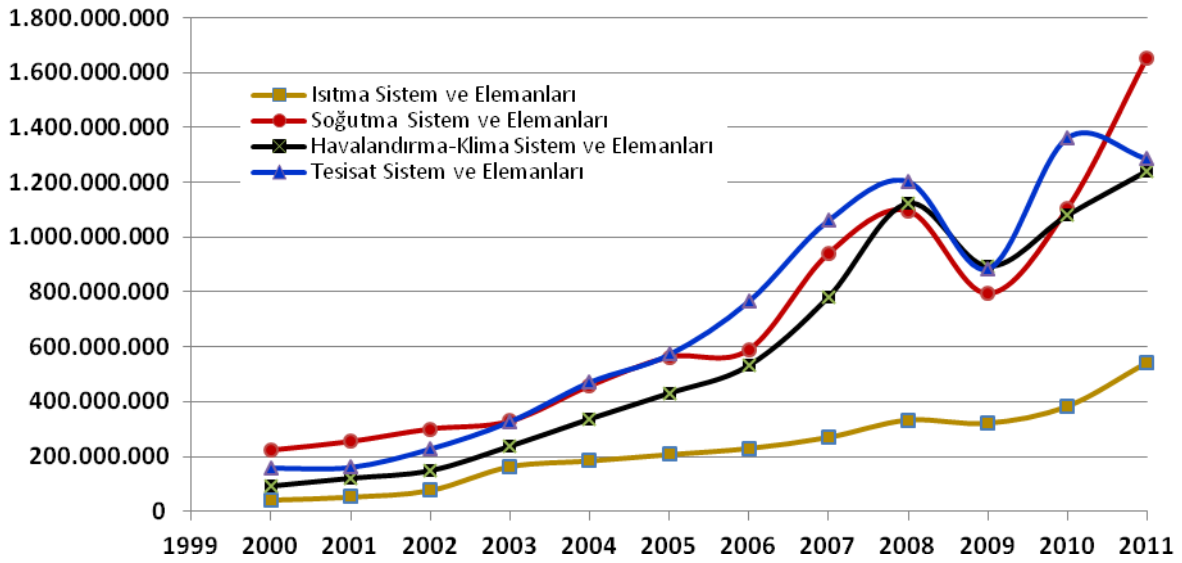
Şekil 4. İklimlendirme sistemlerine ait parçaların Türkiye ihracat hacim oranları, 2011 [9].



Şekil 5. İklimlendirme sistemlerine ait parçaların Türkiye ithalat hacim oranları, 2011 [9].

2000 yılından bu yana elde edilen veriler iklimlendirme sektöründe kullanılan elemanlara ait ihracat değerlerinde artış olduğunu göstermektedir. Isıtma sistem ve elemanlarının ihracat değerlerinin bu yıllar arasındaki ortaması ise diğer sistem elemanlarına göre düşük olduğu belirlenmiştir. Buna göre 2000 yılından günümüze kadar yıllık ortalama değerinin en düşük olduğu alan 255.187.281 USD/yıl ile ısıtma sistem ve elemanları olup, en yüksek ihracat oranı 772.306.302 USD/yıl tesilat sistem ve elemanlarından gerçekleştirilmiştir.

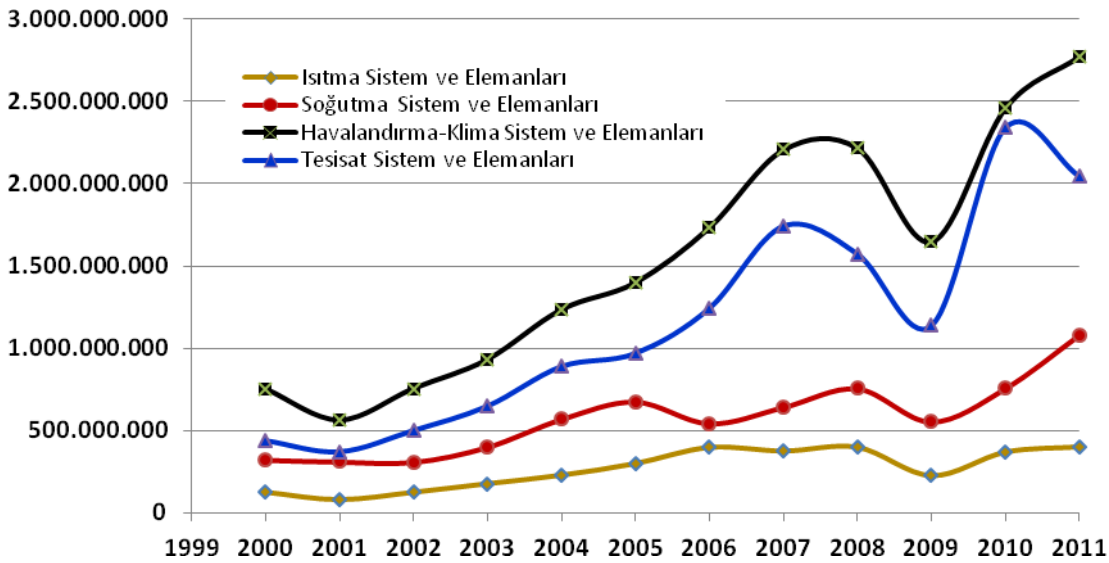
2011 yılında ısıtma sistem ve elemanlarının 540.066.780 USD/yıl, soğutma sistem ve elemanlarının 1.653.548.729 USD/yıl, havalandırma - klima sistem ve elemanlarının 1.241.141.538 USD/yıl, tesilat sistem ve elemanlarının 1.288.836.130 USD/yıl olduğu elde edilen istatistiksel verilerden ve Şekil 6'dan görülmektedir.



Şekil 6. İklimlendirme sektörü elemanlarının 2000-2011 yılları arasındaki ihracat değerleri (USD) karşılaştırması [9].

İthalat açısından, 2000 yılından bu yana geçtiğimiz son 10 yıl içerisinde elde edilen veriler Türkiye’de iklimlendirme sektöründe kullanılan elemanlara ait ithalat değerlerinde artış olduğunu göstermektedir. Isıtma sistem ve elemanlarının ithalat değerlerinin bu yıllar arasındaki ortaması ise diğer sistem elemanlarına göre düşük olduğu belirlenmiştir. Buna göre 2000 yılından günümüze kadar yıllık ortalama değerinin en düşük olduğu alan 291.925.239 USD/yıl ile ısıtma sistem ve elemanları olup, en yüksek ihracat oranı 1.697.487.227 USD/yıl il tesilat sistem ve elemanlarından gerçekleştirilmiştir.

2011 yılında ısıtma sistem ve elemanlarının 291.925.239 USD/yıl, soğutma sistem ve elemanlarının 629.047.585 USD/yıl, havalandırma - klima sistem ve elemanlarının 1.697.487.227 USD/yıl, tesilat sistem ve elemanlarının 1.264.112.484 USD/yıl olduğu elde edilen istatistiksel verilerden ve Şekil 7’den görülmektedir.



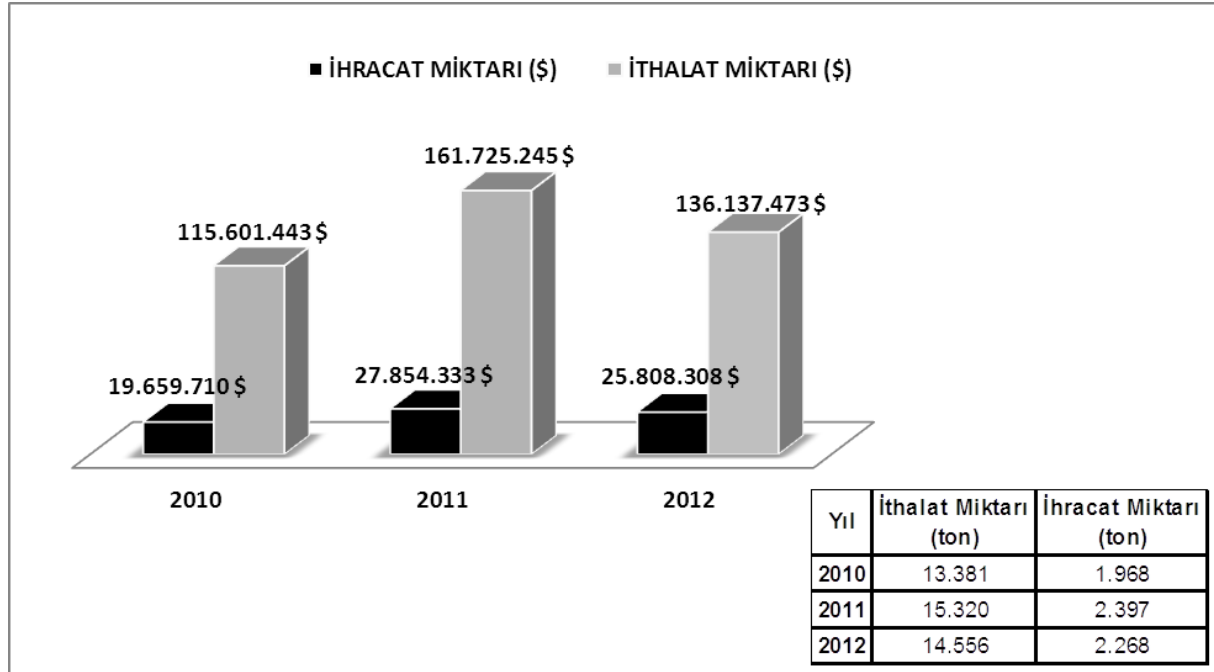
Şekil 7. İklimlendirme sektörü elemanlarının 2000-2011 yılları arasındaki ithalat değerleri (USD) karşılaştırması [9].

Yaşam alanlarımızda ısıtmadan soğutmaya kadar sıvı ve gaz formdaki hava, yakıt ve ısı taşımada özellikle tercih edilen ürün grupları Tablo 1’de verilmiştir. Bu ürünler kapsamına 2011 verilerine göre Türkiye’de yaklaşık 3292 firma faaliyet göstermektedir. Faaliyet alanları ocak, boru, eşanjör, fan, fırın, kazan, klima, pompa, radyatör, soba, soğutucu ve vana olarak çoğunluktadır [9].

Tablo 1. İklimlendirme sektörüne ait alt ürün grupları [9].

| | | | |
|-----------------|--------------------------|--------------|-------------------|
| Ocak | Fan | Kalorifer | Nemlendirici |
| Anemostat | Fırın | Kazan | Pompa |
| Aspiratör | Güneş Enerji Sistemleri | Klima | Radyatör |
| Boru | Hava Damperi | Kombi | Soba |
| Brülör | Hava Filtresi | Kompansatör | Soğutma Kulesi |
| Buzdolabı | Hava Kanalı | Kompresör | Soğutucu |
| Davlumbaz | Hava Perdesi | Kondenser | Termosifon |
| Degazör | Hava Temizleme Cihazları | Kondensop | Vana |
| Derin Dondurucu | Hidrofor | Kurutucu | Vantilatör |
| Eşanjör | Isı Geri Kazanım Cihazı | Menfez | Yalıtım Malzemesi |
| Evaporatör | Isıtıcı | Nem Alıcı | |

Son 3 yıl içindeki ithalat ve ihracat verilerine baktığımızda, Türkiye’de rafine edilmiş ince ve kalın et kalınlıklı bakır boruların ithalat miktarlarının aynı yıllardaki ihracat miktarlarından fazla olduğu görülmektedir. 2010 - 2012 yıllarına ait ithalat ve ihracat miktarları dolar ve ton bazında Şekil 8’de verilmiştir.



Şekil 8. Bakır borunun 2010-2012 yılları arasındaki ithalat ve ihracat değerleri [10].

5. BAKIR BORU, SAĞLIK VE YAŞAM KALİTESİ

Bakır metali doğası gereği istenmeyen bakteri ve virüslerin oluşumuna engel olmaktadır. Bu özelliğinin yanı sıra yapılan araştırmalar günlük 2 mg'lık düşük konsantrasyonun yetişkinler için vücuttaki 75-100 mg'lık gerekli dengeyi sağladığını göstermektedir. Ayrıca Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ve Avrupa Bakır Enstitüsü gibi uluslar arası kurumlar tarafından yapılan araştırmalar da bu bilgiyi desteklemektedir. USEPA (US Environmental Protection Agency), bakırın çok yüksek sıcaklıklarda zehirlenme etkisi yaratmasının ancak gıda alanındaki yüksek sıcaklıklardaki pişirmelerde ortaya çıktığını söylemektedir. Bunun yanı sıra doğal kaynak sularına karışması muhtemel atıklar nedeniyle su kirlenmesi ile de oluşabileceği bilinmektedir [1,11].

Günlük yaşamımızda iç hava kalitesi sağlama amaçlı havalandırma, iklimlendirme, ısıtma - soğutma ve buhar taşıma sistemleri, hastane tesisatları ile medikal gaz ve diğer gaz (LPG, LNG, CNG ve doğal gaz) taşıma tesisatlarının tasarımlarında bakır boru kullanılmaktadır. Aynı zamanda insan sağlığı ile doğrudan etkili olan içme suyu tesisatlarında, depolama alanlarında, havuz ve filtrasyon sistemlerinde de tercih edilmektedir [1].

Bugün tesisat sistemlerindeki malzemeler erozyon ve korozyonun yanı sıra mikrobiyolojik korozyona da uğramaktadır. Mikrobiyolojik korozyon; soğutma kuleleri gibi su taşıyıcı sistemlerinde mikroorganizmaların biyofilm oluşumuna neden olarak mikrobiyolojik korozyonu (MIC-Microbiologically Influenced Corrosion) beraberinde getirmektedir. Metallerin mikrobiyolojik korozyonuna neden olan bakterilerin başında sülfat indirgeyen bakteriler (SRB-Sulphate Reducing Bacteria), kükürdü okside eden bakteriler (SOB-Sulphate Oxidizing Bacteria), demir okside eden bakteriler ve demir indirgeyen bakteriler yer almaktadır. Bakır mikroorganizmaların oluşumuna karşı dirençli bir yüzey olmasına rağmen yine de yüzeyinde belli bir oranda biyofilm oluşumu gözlenebilmektedir. Ancak bu oluşum diğer yüzeylerde oluşan biyofilmlere göre miktarsal olarak daha düşüktür. pH, sıcaklık, O₂ miktarı bakırın zehirleyici etkileri üzerinde etkindir. Biyofilm oluşumları sistemde enerji kayıpları ile ısı transferi veriminde azalmaya, üretim kayıplarına ve sistemin bakım harcamalarının artmasına neden olur [12].

Bakırın bazı bakteri ve virüs türleri için bakteriyostatik ve antibakteriyel olduğu doğrudur. Bazı bakteri türlerinin büyümesini durdurur. Dolayısıyla mevcut bakterinin de çoğalmasını önler. Uygulamada tüm tesisat bakır boru ile donatılsa bile boru içinden geçecek suyun boru ile teması çok kısa süreli olur ki bu durumda bakterinin büyümesi üzerine çok az etkisi olur. Bakır borunun bu durumda en büyük avantajı bakteri biyofilmlerini önleyici özellikte olmasıdır. Boru içinden akan su bu sayede bakteri biyofilmine maruz kalmaz ve büyüme olmaz [13].

Biyofilm oluşumları, soğutma kuleleri ve klima cihazlarının suyu, sıcak ve soğuk su sistemleri, su tankları, evsel pompalama sistemlerinde, evaporatör ve nebulizörler, duş başlıkları, hastanelerde bulunan solunum terapi ekipmanları ve termal banyolarda, çamurlar ve kaplıcalarda gerçekleşmektedir [2,14]. Şekil 9'da tesisat sistemlerinde biyofilm oluşumlarına çeşitli örnekler verilmiştir. Bu oluşumlar Lejyoner hastalığı gibi oluşumları da tetikleyebilmektedir. Elde edilen veriler sıhhi tesisat kaynaklı bu tip vakaların ABD'de her yıl 8000-18000 kişide görüldüğünü, Türkiye'de ise benzer alandaki vakalar içinde %5-10 oranında yer aldığını göstermektedir. Her yıl Dünya'daki ölümlerin %5-15'inin ise bu nedenle gerçekleştiğini söylemek mümkündür [15].



Şekil 9. Biyofilm oluşumu örnekleri [16,17].

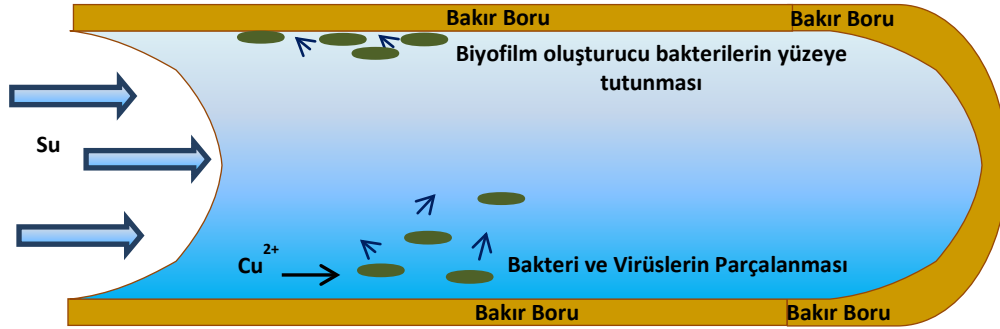
Geçtiğimiz 10 yılda yapılan araştırmalar polio virüsü, Lejyoner hastalığına neden olan *L.pneumophila*, ve *E.coli* 0157:H7'nin yanı sıra methicillin-resistant staphylococcus aureus (MRSA), staphylococcus, clostridium difficile, influenza A-virus, adenovirus, burkholderia cepacia (*pseudomonas cepacia*), *pseudomonas* türleri, *brevundimonas vesicularis* (*pseudomonas vesicularis*), moraxella türleri, *stenotrophomonas maltophilia*, *comamonas testosteroni* (*pseudomonas testosteroni*), *pseudomonas stutzeri*, *pseudomonas fluorescens*, *pseudomonas* türleri, *sphingomonas paucimobilis* (*pseudomonas paucimobilis*), *pasteurella* türleri, *ochrobactrum anthropi*'ye ve mantar oluşumları yoketmede etkili, bakteri ve virüslerin oluşumunu önleyici inhibitör özelliğinde olduğunu göstermiştir [7,8,18].

Çocuk felci, polio virüsü gibi virüsler yaşlandırılmış bakır tüpten geçirildiğinde elde edilen bulgular virüsün 3 saat içinde uzaklaştığını ve 24 saat içinde ise tamamen yokettiğini gösterir. Aynı zamanda bakır boru bu virüsü ve bakterilerinde büyümesini inhibe ettiği gözlemlenmiştir. Ancak yüksek konsantrasyonlarda bakırın sudaki varlığı virüsleri azaltmada etkili olmadığı görülmüştür. Gece boyunca bakır borudaki durgun suda 0,6 mg/L bakırın yayıldığı WHO tarafından belirlenmiştir. Bakır Lejyoner hastalığının kontrolünde plastik borular-PEX (polietilen)'den 10 kat daha etkili olduğu görülmüştür. Hollanda su kalitesi araştırma enstitüsü ev tesisatındaki farklı sıcak su sistemlerini 1 yıl boyunca simüle ettikleri bir sistem ile gözlemlenmişlerdir. Sonuçlar Lejyoner konsantrasyonunun plastik borulara kıyasla 10 kat daha etkin bir şekilde önlendiğini göstermiştir [7].

Gerçekleştirilen bir diğer çalışmada ise bakır alaşımının %99,90 oranında *E.coli* mikrobunu 1-2 saat içinde öldürdüğü gözlemlenmiştir. Bakterinin yokedilme oranı ise artan bakır içeriği ile arttığı da tespit edilmiştir [8].

Bakırın bakteriyostatik ve antibakteriyel özelliği doğal yapısından gelmektedir. Bakırın su ile teması sonucunda Cu^{2+} iyonları oluşmaktadır. Cu^{2+} iyonları antimikrobiyel hareketten sorumlu iyonlardır. Bakteri ve virüslerin bakır ile teması sırasında oluşumlar iki aşamada özetlenebilir. İlk aşamada bakteri ve virüslerin dış zarı ile bakır arasında doğrudan bir etkileşim meydana gelir ve Cu^{2+} iyonları bakteri ve virüslerin hücre zarında delikler oluşturarak DNA'nın ve proteinlerin yıkımını sağlar. Devam eden sonraki aşamada ise bakteri ve virüs hücresinde genel bir gevşeme ve zayıflama gözlenir. Önemli oranda besin ve su kaybı ile yaşamsal faaliyetler için gerekli olan biyokimyasal reaksiyonlar engellenir ve metabolizma durur. Bakırın yapıdaki enzimleri bağlaması ile yeme, sindirme, nefes alma ve enerji

oluşumu fonksiyonlarını yerine getirilemez ve ölüm gerçekleşir [8,19,20]. Şekil 10'da bakır boru içerisinde biyofilm kırılımının örnekleme verilmiştir.



Şekil 10. Biyofilm oluşumu mekanizması ve biyofilmin bakır boruda kırılmasının şematik gösterimi

2008 yılında 274 farklı bakır alaşımı halka açık yerlerdeki bu tür oluşumlara gösterdikleri dirençler açısından antimikrobiyel malzeme olarak sertifikalandırılmıştır [8].

Yapılan bir başka araştırmada bakırın gıda kaynaklı oluşumlara karşı antimikrobiyel özellikte olduğu tespit edilmiştir. Çalışmalarda altı farklı bakır alaşımı test etmiş ve bakterilerin bakır yüzeyinde paslanmaz çelik yüzeyinden daha çabuk yok olduğu belirlenmiştir. Bakırın hava ile teması sonucunda oluşan oksidasyon ürünlerinin bazı bakteriler için toksik etki yarattığı, bu nedenle bakırın doğası gereği bakteriler için zararlı olduğu yapılan tespitler arasındadır. Ayrıca bakteri ve virüslerin bakır konsantrasyonuna bağlı olarak verdiği tepkiler incelendiğinde, yüksek bakır içeriğinin olduğu alaşımlarda düşük bakır içeriğindeki alaşımlara kıyasla daha hızlı mikrobik etkinin yok olduğu da araştırma sonuçları arasındadır. Özellikle yüksek bakır konsantrasyonunda ki yapılarda mikrobiyel etkilerin oluşumların 30 dakikada, düşük bakır konsantrasyonundaki yapılarda ise 2 saat içinde ortadan kalktığı belirlenmiştir [21].

DEĞERLENDİRME

Günümüzde hava, su ve gaz dağıtımı amaçlı kullanılan bakır borular birçok alanda tercih edilebilmektedir. Kullanım alanlarının bir bölümü doğrudan bir bölümü ise dolaylı olarak yaşam kalitemizi etkileyen ısıtma, soğutma ve iklimlendirme alanlarında yer almaktadır. Başta sağlık olmak üzere, uygulanabilirlik, güvenilirlik açısından sahip olduğu özellikleri bakır boruları birçok malzemeye kıyasla avantajlı bir malzeme olmasını sağlamaktadır. Kullanımları uzun vadede ekonomik getiriye de ayrıca beraberinde getirmektedir. Yapılan birçok araştırmada bakır boruların biyofilm oluşumlarını önlemede etkili olduğunu göstermektedir. Biyofilm oluşumuna bağlı bakteri ve virüs oluşumlarını özellikle Lejyoner hastalığı gibi toplu yaşam mahallerinin soğutma ve/veya sıcak su sistemine sahip sistemlerinde yaşam kalitesini önemli ölçüde etkilemektedir. Bu sebepten tesisat sistemlerinde hayati önem taşıyan uygulamalarda yaşam kalitesini arttırmak amacıyla kullanılması önemle önerilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] "Copper Tube in Buildings", Copper Development Association, No 88, January 2000.
- [2] MORITZ, M.M., Integration of hygienically relevant bacteria in drinking water biofilms grown on domestic plumbing materials, 2011.
- [3] EROL, T., "Bakır Borunun Tesisatta Kullanımı", TMMOB Makine Mühendisleri Odası, Tesisat Mühendisliği Aylık Teknik Süreli Yayın, Ocak 1994.
- [4] European Copper Institute, "Tesisatlarda Bakır Boru Tercih Etmek İçin 10 Kuvvetli Neden"

- [5] <http://www.elektrikce.com/metallerin-iletkenlik-ve-diger-ozellikleri/>
- [6] <http://www.izobor.com/tr/dokumanlar.html>
- [7] Kembla Technical Bulletin, "Health Benefits Associated with the Use of Copper Water Tube"
- [8] http://en.wikipedia.org/wiki/Antimicrobial_properties_of_copper
- [9] BIYIKOĞLU, A., Türkiye İklimlendirme Meclisi Sektör Raporu 2011, Ankara, Aralık 2011.
- [10] www.tuik.gov.tr
- [11] Water Quality Association, Technical Application Bulletin, Illinois-USA, 2005.
- [12] DOGRUOZ, N., ÇOTUK, A., SUNGUR, E., CANSEVER, N., "Bakırın Isı Değiştiricilerindeki Mikrobiyolojik Korozyonu", XI. Uluslar arası Korozyon Sempozyumu, 22-24 Ekim 2008.
- [13] <http://en.allexperts.com/q/Biology-664/2011/2/Copper-vs-bacteria.htm>
- [14] VURAL T., ODABAŞ KÖSE E., "Lejyoner Hastalığı ve Turizm", ANKEM, 18(3):184-187, 2004.
- [15] KANTAROĞLU, Ö., "Sıhhi Tesisatla Sistemlerinde Lejyonella Hastalığı", Tesisat Mühendisliği Dergisi, 93 (53-58), 2006.
- [16] http://www.pall.jp/jpn2/medical_45031.asp
- [17] <http://www.prontech.com.tr/pdf/biyofilm.pdf>
- [18] DOGRUOZ, N., MINNOS, B., İLHAN-SUNGUR, E., ÇOTUK, A., "Biofilm Formation on Copper and Galvanized Steel Surfaces in a Cooling-Water System", IUFS Journal of Biology, 68(2):105-111, 2009.
- [19] <http://www.myhealthnewsdaily.com/1352-copper-antimicrobial-ecoli-food-contamination-outbreak.html>
- [20] <http://www.antimicrobialcopper.com/us/scientific-proof/how-it-works.aspx>
- [21] <http://www.uanews.org/story/copper-kills-harmful-bacteria-ua-researchers-find>

ÖZGEÇMİŞ

A.Gamze ONUK

1981 yılı İstanbul doğumludur. 2004 yılında İ.T.Ü Kimya Metalurji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. Aynı Üniversiteden 2007 yılında Yüksek Mühendis ünvanını almıştır. 2008 yılında Y.T.Ü'sinde başladığı doktora eğitimine biyomalzeme alanında halen devam etmektedir. 2007 - 2009 yılları arasında elektrolitik bakır üretimi sektöründe ve 2009 - 2012 yılları arasında biyomedikal sektörde Ar-Ge departmanlarında görev almıştır. 2012 yılı itibariyle Sarkuysan Elektrolitik Bakır Sanayi ve Ticaret A.Ş.'de görev almaktadır. Elektrometalurji, hidrometalurji, ekstraktif metalurji, elektrolitik üretim prosesleri, malzeme üretim teknolojileri, mikroyapı analizleri, biyomalzemeler, biyomalzeme üretim süreçleri, biyoyumuluk konularında çalışmaları ve araştırmaları olmuştur.