



YÖNETİM BİLİŞİM SİSTEMLERİ DERGİSİ

<http://dergipark.ulakbim.gov.tr/ybs>

Yayın Geliş Tarihi: 16.11.2017
Yayına Kabul Tarihi: 23.11.2017
Online Yayın Tarihi: 20.12.2017

Cilt:3, Sayı:2, Yıl:2017, Sayfa:76-90
ISSN: 2148-3752

CLOUD COMPUTING BASED PREDICTIVE MAINTENANCE FRAMEWORK FOR MEDICAL IMAGING DEVICES

Selin ÇOBAN*, Mert Onuralp GÖKALP, Ebru GÖKALP,
P. Erhan EREN

Middle East Technical University, Turkey

Abstract: Recent technological advancements in Internet of Things (IoT) and Cloud Computing domains, enable improving quality of health services in hospitals. The widespread use of smart sensor and actuator technologies in hospitals allow us to improve healthcare services by collecting data from various medical devices. Therefore, hospitals grasp noteworthy potential to convert these collected data into valuable information for predictive maintenance of biomedical devices. However, in order to obtain maximum benefit from the predictive maintenance system to reduce maintenance costs and improve healthcare services, a well-integrated solution is needed to combine cloud computing and IoT technologies with medical imaging devices. Despite some promising efforts in this area to solve this problem, they are not sufficient to be used in the information era. Thus, in this study, we primarily focus on the problem of how to define a predictive maintenance framework for medical imaging devices based on cloud computing and IoT technologies. Then, we identify the benefits and challenges of the proposed predictive maintenance framework.

Keywords: Predictive Maintenance, Cloud Computing, Internet of Things, Medical Imaging Devices

TIBBİ GÖRÜNTÜLEME ARAÇLARI İÇİN BULUT BİLİŞİM TABANLI ÖNGÖRÜCÜ BAKIM UYGULAMA ÇATISI

Özet: Nesnelerin İnterneti ve Bulut Bilişim alanlarındaki son teknolojik gelişmeler, hastanelerde sunulan sağlık hizmetlerinin kalitesinin iyileştirilmesine olanak sağlamaktadır. Bu teknolojilerden biri olan, akıllı sensör ve aktüatör teknolojilerinin hastanelerde yaygın kullanımı ile çeşitli tıbbi cihazlardan toplanan veriler sayesinde, sunulan sağlık hizmetlerinin iyileştirilmesi sağlanmaktadır. Örneğin, cihazlarda oluşacak hataları önceden görerek, bu hataların düzeltilmesini kapsayan öngörücü bakım sistemleri için biyomedikal cihazlardan toplanan veriler önemli bir potansiyele sahiptirler. Ancak, öngörücü bakım sistemlerinden azami fayda elde etmek, bakım maliyetlerini düşürmek ve sağlık hizmetlerini iyileştirilmek için Bulut Bilişim ve Nesnelerin İnterneti teknolojilerinin

tıbbi görüntüleme cihazları ile entegrasyonun etkin bir şekilde gerçekleştiği bir çözüme ihtiyaç duyulmaktadır. Literatürde bu sorunu çözmek için umut verici bazı çalışmalar olmasına rağmen, günümüz bilgi çağında kullanılması için henüz yeterli olgunlukta değillerdir. Bu nedenle, bu çalışma kapsamında, temel olarak, tıbbi görüntüleme cihazları için Bulut Bilişim ve Nesnelerin İnterneti teknolojilerine dayanan bir öngörücü bakım uygulama çatısı tanımlanmıştır. Ardından, önerilen bu uygulama çatısının faydaları ve zararları tartışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Öngörücü Bakım, Bulut Bilişim, Nesnelerin İnterneti, Tıbbi Görüntüleme Cihazları

*Contact Author: coban.selin@metu.edu.tr, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara, Türkiye

GİRİŞ

Bulut bilişim teknolojisinin, sağlık kuruluşları tarafından kullanım oranı 2014 yılında %83, 2016 yılında ise % 84'tür (HIMSS Analytics, 2014) (Malec, 2016). Bulut bilişim alanında son yıllarda gerçekleşen hızlı gelişim ivmesi ve sağlık sektörünün ihtiyaçlarına özgü geliştirilen bulut tabanlı çözümlerdeki artış oranı göz önüne alındığında, bu oranın yıldan yıla artması beklenmektedir. Ayrıca, Nesnelerin İnterneti konsepti ise sağlık personellerinin, hastaların ve tıbbi amaçlı kullanılan görüntüleme ve ölçüm araçlarının kendi aralarında dijital ortamda oluşturduğu bir sağlık platformu sunmamıza olanak sağlamaktadır. Bu nedenle, günümüzde sağlık kuruluşlarının %60'ı Nesnelerin İnterneti cihazlarını kullanmaktadır ve bu oranın 2019'da %87'lere çıkması beklenmektedir (Aruba Network, 2017). Bulut bilişim ve nesnelerin internetinin sağlık kuruluşlarındaki en önemli kullanım alanları arasında bilgisayarlı tomografi, röntgen, mamografi ve anjiyografi gibi tıbbi görüntüleme cihazlarının yönetimi ve bakımı bulunmaktadır.

Öngörücü bakım, sensör ve işlemcilerle donanmış, internet bağlantılı akıllı elektronik sistemler ve algoritmalar sayesinde, cihazların periyodik olarak kontrol edilerek, oluşan küçük problemleri gerçek zamanlı olarak takip edip, oluşabilecek hata ve kalite problemlerini tahmin ederek kendi kendilerine optimize edilmiş kararlar vermesini kapsamaktadır (Lee, Kao, & Yang, 2014). Öngörücü bakım ile, cihaz bakımları için harcanan bakım maliyetlerinin azaltılması ve cihazların bozulmadan sürekli aktif olarak çalışmasını sağlanması amaçlanmaktadır. Sanayi sektöründe yaşanabilecek cihaz aksaklıkları ve bozuklukları, üretim hattını durdurarak büyük bir maddi zarara neden olabileceken, sağlık sektöründe yaşanabilecek aksaklıklar hastaların hayatını kaybetmesi gibi maddi olarak ölçülemeyecek kadar büyük sorunlara neden olmaktadır. Sağlık hizmetlerinde, özellikle tıbbi görüntüleme cihazları hastalıkların erken teşhisinde ve tedavi sürecinin hastalık ilerlemeden başlatılmasında önemli bir rol oynamaktadır. Bu nedenle, bu araçların bakımı ve ürettiği sonuçların doğruluğu hasta sağlığı açısından büyük bir önem arz etmektedir. Hastanelerin etkili bir tıbbi cihaz yönetimi altyapısı kurarak, cihazları sürekli takip ve test etmesi, sunulan sağlık hizmetinin kalitesinin artması ve tıbbi cihazların kullanımı sırasında yaşanabilecek iş kazalarını engellemek açısından çok önemlidir (Derrico et al., 2011)(Miniati, Dori, Iadanza, Fregonara, & Gentili, 2011). Ayrıca, tıbbi görüntüleme cihazlarında yaşanabilecek kalibrasyon bozukluğu yanlış görüntüleme veya test sonuçlarının elde edilmesine neden olabilir. Bu durum hastalıkların yanlış teşhis edilmesine veya hiç teşhis edilememesine neden olarak hastanın sağlığını ve hatta hayatını riske atabilmektedir.

Bu nedenlerden dolayı, hastanelerin kendi bünyesinde tıbbi cihaz yönetim sistemi kurulması ve bu yönetimin Sağlık Bakım Ürünleri Düzenleme Kurumu (HPRA) tarafından tanımlanan tıbbi cihaz bakım programı beyanatına uygun bir şekilde düzenlenmesi gerekmektedir (MHRA, 2014). Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından sunulan yönetmelik ise tıbbi cihazların değiştirilebilir parçalarının

periyodik bakımı sırasında kontrol edilmesi gereken kalibrasyon seviyelerini ve standartlarını sunmaktadır. Günümüzde, hastanelerde tıbbi görüntüleme cihazlarının bakımı geleneksel yaklaşımla, biyomedikal teknisyenlerinin periyodik bakım bilgilerini dijital ortama aktarmadan, kâğıt formlar üzerinde son bakım tarihi, kalibrasyon tarihi, cihaz seri numarası ve üretici firma bilgileri yazılarak arşivlenmektedir. Gerekli rutin bakım kontrollerinin takibi ve tarihlerinin ayarlanması için, tıbbi görüntüleme cihazlarının üzerinde bulunan kalibrasyon bilgi etiketi ile arşivlenmiş formlardaki bilgiler karşılaştırılmaktadır. Ancak bu geleneksel yöntem hem bakım sürecinin uzamasına hem de insan hataları nedeniyle yanlış bilgilerin kalibrasyon bilgi etiketlerine girilmesine yol açması nedeniyle bakım maliyetlerinin artmasına, sunulan sağlık hizmeti kalitesinin düşmesine ve yavaşlamasına neden olmaktadır.

Sağlık hizmetlerinde kullanılan Nesnelerin İnterneti cihazları genellikle düşük performans, sınırlı veri saklama ve işleme yeteneğine sahiptirler. Ancak bulut bilişim sunduğu hizmetler ile neredeyse sınırsız bir saklama alanı ve işleme gücü kapasitesi sunmaktadır. Bulut bilişim ve nesnelerin interneti konseptlerini bir araya getiren yaklaşımlar yenilikçi ve insan hayatını kolaylaştıracak çözümler sunabilmektedir. Özellikle son yıllarda Nesnelerin İnterneti ve Bulut Bilişim alanlarında görülen teknolojik gelişmeler, sağlık sektöründe hasta, tıbbi cihaz vb. kaynaklardan veri toplanmasının ve bu verilerin işlenerek hastalara sunulan hizmetlerin iyileştirilmesi amacı ile kullanılmasının önünü açmıştır. Bu sayede Nesnelerin İnterneti ve Bulut Bilişimin beraber kullanımı, sağlık sektöründe birçok uygulama alanında yer bulmuştur. Örnek olarak, görüntü arşivleme ve iletişim sistemleri (PACS) (Honeyman et al., 1994)(Cooke Jr, Gaeta, Kaufman, & Henrici, 2003); uzaktan hasta takip sistemleri (Guo et al., 2016) (Jiang et al., 2016) ve hastalık teşhis yöntemlerinin geliştirilmesi (King et al., 2016) verilebilir.

Bu bilgiler ışığında, bu çalışmada hastanelerde kullanılan tıbbi görüntüleme araçları için nesnelerin interneti ve bulut bilişim teknolojilerini temel alan, WHO tarafından sunulan tıbbi cihaz bakım standartlarını kapsayan bir öngörücü bakım uygulama çatısı önerilmiştir. Bu kapsamda ilk önce, literatürde bulut bilişim ve öngörücü bakım ile ilgili çalışmalardan kısaca bahsedilip, daha sonra önerilen bulut tabanlı öngörücü bakım uygulama çatısını oluşturan mimarinin detayları anlatılmaktadır. Sonrasında, gelecek çalışmalar hakkında bilgi verilerek çalışma sonlandırılmıştır.

İLGİLİ ÇALIŞMALAR

Bu bölümde, literatürdeki öngörücü bakım sistemleri ve bu sistemlerin bulut bilişim ve nesnelerin interneti ile olan entegrasyonunu kapsayan çalışmalar incelenmiştir.

Bakım stratejileri, *Düzeltilici Bakım*, *Koruyucu Bakım* ve *Öngörücü Bakım* olmak üzere üç ana kategoriye ayrılmıştır (K.-S. Wang, Li, Braaten, & Yu, 2015). *Düzeltilici bakım* cihazlarda oluşan hataları düzelterek düzgün bir şekilde çalışmasını

sağlayan bakım türüdür (Swanson, 1976), bu bakım stratejisi cihazda arıza oluşmadan yapılmadığı için günümüzde bu alanda pek çalışma yapılmamaktadır. *Koruyucu bakım* ise cihazların ve değiştirilebilir parçalarının ömürlerini uzatmak ve güvenliklerini arttırmak için yapılan bakım türüdür (García, Sánchez, & Barbati, 2016). Koruyucu bakımlar genellikle düzeltici bakımlar esnasında, planlanan bir bakım takvimi ve kesinti süresince gerçekleştirilir. *Öngörücü bakım* ise, gelecekte yaşanabilecek cihaz aksaklıklarını, cihazdan sürekli olarak toplanan veriler ile sürekli olarak izleyerek önceden tahmin edebilen bakım türüdür (Schmidt & Wang, 2016). Düzeltici ve Koruyucu bakımdan farklı olarak önceden belirlenmiş bir bakım takvimi yoktur, cihazdan toplanan veriler değerlendirilerek bakım yapılması gerekliliğine anlık olarak karar verilir.

Bulut Bilişim, Nesnelerin İnterneti ve Öngörücü Bakım

Bulut bilişim, son zamanlarda önem kazanan ve internet üzerinden donanım kaynağı ve yazılım sağlamak için ortaya çıkan bir paradigmadır (Armbrust et al., 2010). Temel olarak üç farklı servis hizmeti sunmaktadır; Servis olarak Yazılım (SaaS), Servis olarak Altyapı (IaaS) ve Servis olarak Platform (PaaS). Sağladığı yararların fark edilmesinin ardından, son yıllarda bulut bilişimin üretim sanayisinde kullanılması yönünde önemli bir talep oluşmuştur (Xu, 2012). Bu talep doğrultusunda ve Nesnelerin İnterneti teknolojisinin hızla gelişmesi ile birlikte Bulut Tabanlı Üretim (Zhang et al., 2014) paradigması ortaya çıkmıştır. Tüm bu gelişmeler, öngörücü bakım sistemlerinin verimli bir şekilde kullanılması için gerekli ortamı yaratmıştır bu yüzden öngörücü bakım Bulut Tabanlı Üretim paradigmasına bir servis olarak sunulmaktadır (Ren et al., 2015). Bulut bilişim ve nesnelerin interneti, Endüstri 4.0 vizyonunun ortaya çıkmasını sağlayan başlıca tamamlayıcı teknolojiler arasında yer almaktadır. Endüstri 4.0 kapsamında, bulut bilişim ve nesnelerin interneti teknolojilerini kullanarak yapılan öngörücü bakım çalışmaları bulunmaktadır (K. Wang, 2016)(Lee et al., 2014).

Öngörücü Bakımın Sağlık Alanında Kullanımı

Üretim sektörü ile karşılaştırıldığında hata oranının tolere edilemediği sağlık sektöründe, kullanılan tıbbi cihazların bakımının önemi dünyada anlaşılmıştır. Bu konuyla ilgili olarak Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tıbbi cihazların değiştirilebilir parçalarının örneğin, piller, valfler, contalar ve pompaların periyodik bakımı sırasında kontrol edilmesi gereken kalibrasyon seviyelerini ve standartlarını içeren bir yönetmelik hazırlamış ve bunu açık kaynak olarak paylaşmıştır. Bu yönetmelikte, tıbbi cihazların parçaları için birer başarısızlık oranı tanımlanarak, parçanın değiştirilip değiştirilmeme kararını verecek bir öngörücü bakım tekniği de tanımlanmıştır (World Health Organization, 2011). Böylece, cihazların bakım sıklığının ayarlanması ve cihaz parçalarının bozulmalarından önce değiştirilmesi, dolayısı ile bu cihazların sorunsuz bir şekilde çalışmasına devam etmesinin sağlanması amaçlanmaktadır. Bu sayede, yakın zamanda bozulması öngörülen parçanın bakım esnasında değiştirilmesi veya bir sonraki bakım takviminin parça

bozulmadan önceki döneme göre güncellenmesi ile cihazın sorunsuz ve güvenli bir şekilde sürekli olarak çalışmasının sağlanması öngörülmektedir.

Tanımlanan 2007/47/EC direktifine göre (European Commission, 2007), cihaz kontrolleri, kullanımı ve bakım sırasında uygulanacak talimatlar ve kalibrasyon bilgileri detaylı bir şekilde cihaz üreticisi tarafından belirlenmelidir. Amerikan Gıda ve İlaç Dairesi (FDA), tıbbi cihazlar üzerinde önleyici bakım çalışması yapılması için bu cihazlarda oluşan arızaları içeren bir veri bankası sunmaktadır (Lowe & Scott, 1996). Literatürde yapılan çalışmalarda genel olarak bu veri bankasından yararlanmıştır. Örneğin Z. Bliznakov'un çalışmasında (Bliznakov, Mitalas, & Pallikarakis, 2006), FDA tarafından sunulan bu veri tabanı kullanılarak, tıbbi cihazlarda yaşanan arızalar ve cihazların üretici firma tarafından kaynaklanan sorunları sınıflandırılmıştır.

Belirtilen standartları ve yönetmelikleri, hastanelerde bulunan tüm tıbbi cihazların özelliklerini, çalışma koşullarını ve önceki arızaları göz önüne alan etkili bir öngörücü bakım sistemi yöntemi geliştirilmesine ihtiyaç vardır. Bu öngörücü bakım sistemi, günlük, aylık ve cihazdan cihaza göre farklılık gösterecek aralıklarla yapılacak kontrolleri içermelidir. Literatürde, bu kapsamda yapılan çalışmaları incelediğimiz zaman, tıbbi cihaz bakımı yönetimi takvimini ayarlamak ve bakım taleplerinin toplanması için akıllı bakım yönetim sistemleri ile ilgili çalışmaların bulunduğu, fakat tıbbi görüntüleme cihazları için bir öngörücü bakım sisteminin bulunmadığı tespit edilmiştir. Tıbbi cihazların bakım yönetimi için çalışmalardan bazıları (Mkalaf, 2015), öngörücü bakım sistemleri yönetiminin, kritik tıbbi cihazların güvenilirliği ve bu cihazların hastalık teşhisini etkileyecek faktörleri arasındaki ilişkiyi incelemektedir. Başka bir çalışma ise, bir biyomedikal teknisyeni tarafından tıbbi cihazlardan toplanan verileri web tabanlı bir uygulama üzerinde elle girerek analiz etmesi ile ilgilidir (Sezdi & Ozdemir, 2014). Ancak bu çalışmada, veriler sürekli olarak teknisyenler tarafından girilmek zorundadır, gömülü sistemler tarafından bulut bilişim sistemine direkt olarak aktarılmamaktadır.

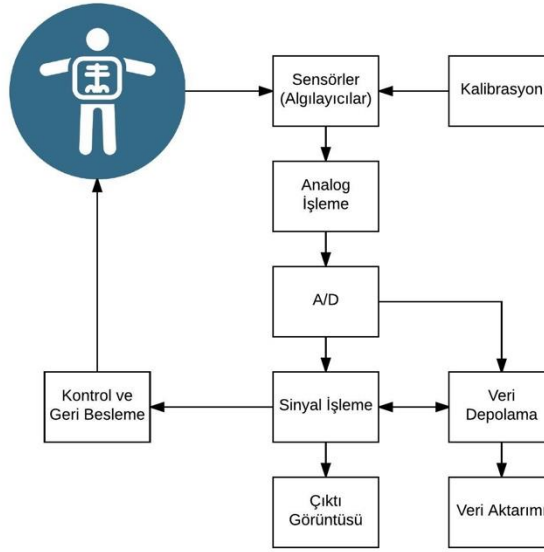
Bu çalışma kapsamında, belirtilen standartları ve yönetmelikleri, hastanelerde bulunan tüm tıbbi cihazların özelliklerini, çalışma koşullarını ve önceki arızaları göz önüne alan etkili bir öngörücü bakım sistemi yöntemi geliştirilmesine ihtiyaç olduğu tespit edilmiştir. Bu öngörücü bakım sisteminin, günlük, aylık ve cihazdan cihaza göre farklılık gösterecek aralıklarla yapılacak kontrolleri içermesi gerekmektedir. Tespit edilen bu ihtiyacı karşılamak amacı ile önerilen öngörücü bakım sistemi çatısının yapısını oluşturmak için nasıl bir yöntem izlendiği bir sonraki bölümde anlatılmıştır.

YÖNTEM

Önerilen öngörücü bakım sistemi çatısının yapısı anlatılmadan önce, öngörücü bakım yapılacak tıbbi görüntüleme cihazlarının temel çalışma prensibi ve tıbbi görüntüleme yöntemleri ile hastanın vücut görüntüsünün alınması için gereken adımlar Şekil 1'de gösterilmiştir. İnsan vücudundan tıbbi cihazlar yardımı ile

biyomedikal sinyal toplayarak ve sonuçları bulut bilişim aracılığıyla dijital ortama ve bilgisayar ekranına taşımaya yardımcı olan bu sisteme “*Biyo-ölçüm sistemi*” adı verilmektedir (Zhou, Wang, & Cui, 2015). Biyo-ölçüm sistemleri sensörler, analog işleme birimi, analog sinyali sayısal (dijital) sinyale dönüştürücü, dijital sinyal işleme, sonuç çıktı ekranı, veri depolama ve kalibrasyon birimlerinden oluşmaktadır. Bu yöntem, insan vücudundaki görüntülerin dijital ortama aktarılarak doktorlara iletilmesini, böylece hasta bakım hizmeti ile hastalık teşhisi için gerekli olan kararların verilmesini sağlamaktadır. Başka bir deyişle, biyo-ölçüm sistemi, tıbbi görüntüleme cihazlarındaki algılayıcılar (sensörler) yardımıyla insan vücudundan veri toplamanızı sağlayan sistemlerdir. Genel olarak biyo-ölçüm sistemi şu şekilde çalışmaktadır; sensörler aracılığıyla toplanan biyomedikal sinyaller, analog ve dijital işlem ünitelerinden geçerek işlenir. İşlenen sinyallerin sonucu bilgisayar ekranında gösterilir ve aynı zamanda bulut bilişim aracılığıyla hastane bilgi sistemlerine ve diğer bilgi sistemlerine iletilir.

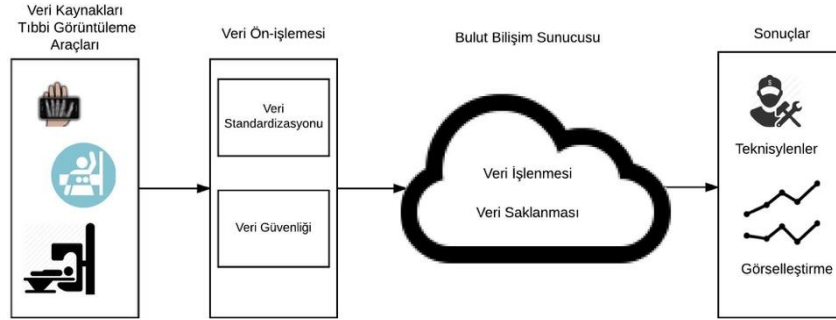
Şekil 1: Tıbbi görüntüleme cihazlarının genel çalışma prensibi



Önerilen Öngörücü Bakım Sistemi

Bu çalışma kapsamında, yukarıda bahsedilen biyo-ölçüm bilgileri ışığında medikal görüntüleme cihazları için bulut tabanlı bir öngörücü bakım sistemi önerilmektedir. Önerilen konsept sistem, Şekil 2’de gösterildiği gibi, Veri Toplanması, Veri Ön-İşlemesi, Bulut Bilişim ve Sonuçların dağıtılmasını içeren dört temel bileşenden oluşmaktadır.

Şekil 2. Önerilen Öngörücü Bakım Sistemi



Veri Toplanması

Tıbbi görüntüleme cihazları genel olarak gömülü sistemlerden oluşmaktadır. Bu gömülü sistemler kendi içlerinde algılayıcılar, işlemciler ve aktüatörler gibi çeşitli bileşenler içermektedir (Srovnal, 2005). Gömülü sistemlerdeki bu bileşenlerin Nesnelerin İnterneti konsepti ile kullanımı ve yaygınlaşan kablosuz bağlantı aracılığıyla internete bağlanabilen akıllı algılayıcılar, aktüatörler ile mobil cihazlar sayesinde öngörücü bakım sisteminde kullanılması için kolayca veri toplanması ve dijital ortama aktarılması mümkün olmuştur. Bu sayede, tıbbi görüntüleme cihazlarına özgü tanımlanacak olan öngörücü bakım sistemleri için gerekli X ışını tüplerindeki voltaj (kVp) ve amper (mAs) bilgisi, X-ışını tüplerinden çıkan ışınların doğrusallığı, ışınlanma zamanı, odak-detektör mesafesi arasındaki yarı değer katman kalınlığı, X-ışını alanı uygunluk ve ızgara ayarı bilgilerini içeren veriler toplanabilmektedir.

Tıbbi görüntüleme cihazlarından nesnelerin interneti cihazları ve gömülü sistemler aracılığıyla toplanan verilere ek olarak, hastaneler, cihaz kullanıcılarının, hastanenin teknik personeli ile yetkili teknik servis personelinin katılımı ile bakım faaliyetleri içeren eğitim oturumları düzenleyebilir ve rutin kontroller yaparak kalibrasyon sonuçları ve eklemek istenen geri beslemeleri sisteme el ile ekleyerek toplanan veri kalitesini artırabilir.

Veri Ön-ışlemesi

Tıbbi görüntüleme cihazlarından toplanan veriler öngörücü bakım sistemi tarafından işlenmeden önce, bu verilerin hangi bilgileri içerdiği tanımlanmalıdır. Başka bir deyişle, medikal görüntüleme cihazlarından toplanan veriler yapılandırılmış veya yapılandırılmamış olabilir, bu verilerin işlenmeye hazırlanması gerek teknik personelin verileri anlamlandırabilmesi gerek ise tanımlanan veri işleme yazılımının doğru sonuç üretebilmesi için belli bir veri standardına sokulması ve anlaşılabilir hata türü ve hata kodu bilgisini içermesi gerekmektedir.

Hata türleri ve kodları üretici firmaların çeşitliliğinden dolayı cihazdan cihaza farklılık gösterebilir, bu nedenle önerilen sistemde *Veri Standardizasyonu* bileşeni tanımlanmıştır. Bu bileşenin amacı farklı cihazlardan gelen hata kodlarını ve türlerini ortak bir standarda dönüştürecek bir ara-yüz sunmaktır. Bu ara-yüz aracılığı ile teknik personele iletilen hata türleri 'çalışmıyor', 'elektrot hatası', 'hassasiyet hatası', 'düşük veya yüksek enerji hatası' şeklinde hata türleri ve kodları olarak tanımlanabilir. Bu bilgilere ek olarak, Veri Standardizasyonu bileşeni aracılığı ile, arızanın sensör arızası mı yoksa cihaz parçası arızası mı olduğu, üretici firma bilgisi, cihazın seri numarası, son kalibrasyon tarihi, cihazın konumu, arıza yaptığı tarih, saat ve benzeri bilgiler de tutularak ileride bu verilerin anlamlandırılması ve makine öğrenimi yöntemleri ile öngörücü bakım sisteminin başarı oranının artırılması için kullanılması amaçlanmıştır.

Veriler tıbbi görüntüleme cihazlarından, hastanelerin biyomedikal mühendislerine ve cihazların yetkili teknisyenlerine bulut bilişim aracılığıyla iletilmektedir bu nedenle *Veri Güvenliği* hesaba katılmalıdır. Tıbbi görüntüleme aygıtlarındaki gömülü sistemlerden toplanan bu veriler, hasta bilgisi gizliliği açısından, son kullanıcılara güvenli bir bulut bilişim bağlantısı aracılığıyla gönderilmek zorundadır. Bu amaçla eğer 3. parti bir bulut bilişim servisi sağlayıcısı kullanılacaksa, bulut bilişim Servis olarak Yazılım hizmetleri ile akan veriler uçtan uca şifreleme yöntemi ile korunabilir veya hastaneye özgü bir bulut bilişim altyapısı kurularak verilerin hastane ağı dışına çıkması engellenebilir.

Bulut Bilişim

Tıbbi görüntüleme cihazlarından toplanan verilerin bulut bilişim aracılığıyla dijital ortama aktarılması ve bu verilerin analizi ile ortaya çıkacak bir öngörücü bakım sistemi modellenmesinin önü açılmıştır. Bulut Bilişim bileşeni genel olarak *Veri İşlenmesi* ve *Veri Saklanması* görevlerini üstlenmiştir. Bulut bilişim toplanan verilerin dijital ortama aktarılması dışında, veri işleme ve saklaması için sunduğu esneklik açısından çok önemlidir. Çünkü, veri işleme ve saklama operasyonları zamanla daha fazla bilgi işlem kaynaklarının kullanılması ihtiyacı ortaya çıkarabilir. Bu ihtiyaçlar bulut bilişimin sunduğu Servis olarak Altyapı hizmetleri sayesinde, teknik detaylar ile uğraşılmadan kolay bir şekilde çoğaltılarak önerilen öngörücü bakım sisteminin ölçeklenebilir olmasını sağlar.

Tıbbi görüntüleme cihazlarından toplanan verileri işleyerek öngörücü bakım amacıyla bir bulut bilişim servisi geliştirebilmek için, cihazdan cihaza değişebilen parametreleri ve hangi parametrelerin hangi cihaz için kontrol edilmesinin kararlaştırılması sistem başarısı açısından büyük bir önem taşımaktadır. Öngörücü bakım karar destek mekanizması oluşturulabilmesi için, cihazlardan toplanan kalibrasyon ölçüm parametreleri arasında bir önceliklendirme yapılmalıdır, örneğin Bilgisayarlı Tomografi cihazları için "Gürültü Testi" büyük bir önem arz ederken, Röntgen cihazları için "Gürültü Testi" yapılmasına gerek olmayabilir. Medikal cihazların bakımı üzerinde çalışan ve bu cihazlardan toplanan verileri kalibrasyon ve bakım prosedürleri geliştirmek için kullanan önemli kurumlar bulunmaktadır;

Acil Bakım Araştırma Enstitüsü (ECRI), Amerikan Fizik Tıp Birliği (AAPM) ve Tıp Fakültesi Fizik ve Mühendislik Enstitüsü (IPEM) bu kurumların önde gelenlerindedir. Bu kurumların düzenlemelerine göre, kalibrasyon ölçüm parametreleri belirlenmiş ve Tablo 1'de gösterilmiştir. Tabloda gösterilen tıbbi görüntüleme cihazlarının kalibrasyon zaman aralığı 1 yıl olarak ilan edilmiştir. Tıbbi görüntüleme cihazları için tanımlanan öngörücü bir bakım sistemi, cihazlardan toplanan veriler ile yetkili kurumlar tarafından düzenlenen ve Tablo 1’de listelenen parametreleri kontrol etmelidir.

Tablo 1: Medikal görüntüleme aygıtlarının kalibrasyon ölçüm parametreleri

Kalibrasyon Ölçüm Parametreleri	Medikal Görüntüleme Araçları					
	X-ray (Röntgen)	Mobil X-ray (Röntgen)	Mobil C-Kollu	Bilgisayarlı Tomografi	Anjiyografi	Mamografi
Kvp değerinin doğruluğu						
Mas değerinin doğruluğu						
Doğruluk ve homojenlik						
Yarı değer katman kalınlığı						
Doz kararlılığı						
Doz ve mas ilişkisi						
Doz ve kvp ilişkisi						
Görüntü çözünürlük testi						
Gürültü testi						
Yüksek ve düşük kontrastın ölçülmesi						
Röntgen ışınlarının doğrusalılığı ve tekrari						
Odak noktası boyut testi						
Sistemin ölçümü						
Radyasyon sızıntı testi						
Röntgen ışınlarının otomatikleştirilmesi kontrolü						
Dozimetri testi						
Performans testi						
Mekanik ayarlamalar						
Eğim testi						

Ayrıca, bulut bilişim sayesinde, toplanan veriler bir veri tabanında sürekli olarak saklanabilir. Toplanan bu veriler ileride makine öğrenimi veya derin öğrenme yöntemleri kullanılarak daha önce fark edilmemiş olan arıza desenleri

veya modelleri tespit edilerek öngörücü bakım sisteminin başarısı artırılmak için kullanılabilir.

Sonuçların Dağıtılması

Bulut bilişim ile işlenen sonuçlar, son kullanıcılara, biyomedikal teknisyenlerine iletilerek, bir bakım takvimi oluşturulması için kullanılmaktadır. Ayrıca tıbbi görüntüleme cihazlarından toplanan bu verilerin anlık olarak bir görselleştirme aracılığı ile sürekli olarak izlenmesi ve teknisyenler tarafından anlaşılabilirliğinin kolaylaştırılması amaçlanmıştır.

Önerilen Öngörücü Bakım Sisteminin Yararları ve Zorlukları

Önerilen öngörücü bakım sistemi ile aşağıda sıralanan yararların olması beklenmektedir.

Artan Sağlık Hizmeti Kalitesi: Sistem ile birlikte, cihazların bakım ve onarım faaliyetleri öngörülebildiği için, bu faaliyetlerin hizmet sürekliliğini aksatmayacak bir takvime yerleştirilmesinin sağlanması amaçlanmaktadır. Ayrıca hastaların, cihazların öngörülemez aksaklıkları nedeniyle oluşabilecek zararlı radyolojik ışınlarla maruz kalmalarının önüne geçilmesi, böylece sunulan hizmet kalitesinde artış sağlanması öngörülmektedir.

Artan Hastane Personeli Güvenliği ve Sağlığı: Tıbbi görüntüleme cihazları ile çalışan radyoloji uzmanlarının, bu cihazlarda görülebilecek arıza veya bakım eksiklikleri sebebiyle oluşabilecek zararlı radyolojik ışınlarla maruz kalmalarında azalma sağlayarak, bu çalışanların iş güvenliğinin ve yaşam kalitelerinin artırılması öngörülmektedir.

Artan Veri Doğruluğu: Sistem sayesinde tıbbi görüntüleme cihazlarının en yüksek performansla sürekli çalışması sağlanarak ve problemleri önceden öngörülerek tedbirlerin alınması ile, hata payının en aza indirilmesi ve üretilen görüntüleme verilerinin doğruluğunun artırılması beklenmektedir.

Artan Hasta Memnuniyeti: Artan sağlık hizmet kalitesi ve veri doğruluğu sayesinde hastalık teşhislerinde meydana gelebilecek yanlış kararların önüne geçilerek, zamanında ve doğru tedavi uygulanmasının sağlanması öngörülmektedir.

Azalan Bakım ve Onarım Maliyeti: Tıbbi görüntüleme cihazlarında oluşabilecek arıza durumları önceden öngörülerek, cihazların veya değiştirilebilir parçalarının tamamen kullanılamaz duruma gelmeden önce tamir edilmesi sağlanarak bakım ve onarım maliyetinin azalması öngörülmektedir. Örneğin, yüksek maliyetli parça değişimlerinin yapılmasına gerek kalmadan parçanın bakımı yapılarak kullanımına devam edilmesi, ve böylece maliyet avantajının elde edilmesi beklenmektedir.

Artan Çeviklik ve Hızlı Çözüm Oluşturma Hızı: Önerilen sistem sayesinde, tıbbi görüntüleme cihazlarından toplanan verilerin sürekli olarak bulut bilişimde işlenmesi ve saklanması ile birlikte, gerçek zamanlı karar destek mekanizmalarının

oluşturulması, böylece çeviklik ve çözüm oluşturma hızında artış olması beklenmektedir.

Artan Karar Kalitesi: Tıbbi cihazların ve parçalarının performansı ile ilgili verilerin sürekli olarak öngörücü bakım sistemine akması sayesinde, bu veriler sistem üzerinde saklanarak toplu işleme yöntemleri ile cihazların günlük, haftalık ve/veya aylık çalışma raporları elde edilmesi ile, ve yeni cihaz alımlarında bu raporların kullanılması ile doğru karar verilmesinin sağlanması öngörülmektedir.

Önerilen, tıbbi cihaz görüntüleme öngörücü bakım sisteminin aynı zamanda aşağıda sıralandığı gibi çeşitli zorlukları ve riskleri bulunmaktadır.

İlk Yatırım Maliyeti: Hastanede kullanılan tıbbi görüntüleme cihazlarının üretici firma tarafından Nesnelerin İnterneti teknolojilerini barındırmaması durumunda, bu cihazlar üzerinde veri toplama ve bu verileri bulut bilişim ortamına aktaracak teknolojiler ile donatılması gerekmektedir. Bu durum gerekli teknolojilerin satın alma ve entegrasyon maliyetini oluşturmaktadır. Hastanelerin Fayda/Maliyet analizi yaparak, sistemi kullanma kararını vermeleri gerekmektedir.

Teknik Personel Eksikliği: Nispeten yeni olan Nesnelerin İnterneti ve bulut bilişim teknolojileri ile ilgili yeterli donanıma sahip personelin eksikliği, önerilen sistemin kurulumu, kullanımı ve sürekliliğinin sağlanması açısından önemli zorluklardan biridir.

Süreklilik Sağlama: Sistemin sürekli ayakta kalmasını sağlamak için belirli bir insan ve donanım kaynağının tahsis edilmesinin gerekmesi sistemin zorluklarından biridir.

TARTIŞMA ve SONUÇ

Bu çalışma, bulut bilişim teknolojisini kullanan tıbbi görüntüleme aygıtları için öngörücü bir bakım sistemi tanımlamayı amaçlamıştır. Hastanelerde öngörücü bakım sisteminin maliyet açısından olumsuz yönleri bulunsa da hastanelerin bu sistemi uygulamaları gerek sundukları sağlık hizmeti açısından gerek ise hasta sağlığı açısından büyük bir önem arz etmektedir. Hastanelerde öngörücü bakım sistemi kurulması, sadece tıbbi görüntüleme cihazlarının performansını arttırmakla kalmayıp aynı zamanda bu tıbbi cihazların güvenilirliğini de arttırarak, sağlık personellerinin yaşayabileceği iş kazalarının önüne geçmek için kullanılmalıdır.

Gelecekte bu çalışmaya ek olarak, büyük veri yöntemlerinin kullanılarak veri işleme ve saklama bileşeninin performansı artırılabilir. Bu sayede, büyük veri işleme platformlarının sunduğu makine öğrenimi kütüphanelerinden yararlanılarak oluşturulan öngörücü bakım sistemi modelinin başarısı artırılabilir. Ayrıca, hastanelerde tıbbi görüntüleme cihazlarının koşulları, Endüstri 4.0 konseptinde kullanıldığı gibi bir sanal gerçeklik ortamında gözlemlenebilir ve kontrol edilebilir.

KAYNAKLAR

- Armbrust, M., Stoica, I., Zaharia, M., Fox, A., Griffith, R., Joseph, A. D., ... Rabkin, A. (2010). A view of cloud computing. *Communications of the ACM*, 53(4), 50. <https://doi.org/10.1145/1721654.1721672>
- Aruba Network. (2017). IoT Heading for Mass Adoption by 2019 Driven by Better-Than-Expected Business Results | Aruba Networks Newsroom.
- Bliznakov, Z., Mitalas, G., & Pallikarakis, N. (2006). Analysis and Classification of Medical Device Recalls. *IFMBE Proceedings*, 14(6), 3782–3785. https://doi.org/10.1007/978-3-540-36841-0_957
- Cooke Jr, R. E., Gaeta, M. G., Kaufman, D. M., & Henrici, J. G. (2003, June). Picture archiving and communication system. Google Patents.
- Derrico, P., Ritrovato, M., Nocchi, F., Faggiano, F., Capussotto, C., Franchin, T., & De Vivo, L. (2011). Clinical engineering. In *Applied Biomedical Engineering*. InTech.
- European Commission. (2007). Directive 2007/47/EEC.
- García, I. E. M., Sánchez, A. S., & Barbati, S. (2016). Reliability and Preventive Maintenance. In *MARE-WINT* (pp. 235–272). Springer.
- Guo, J., Zhou, X., Sun, Y., Ping, G., Zhao, G., & Li, Z. (2016). Smartphone-Based Patients' Activity Recognition by Using a Self-Learning Scheme for Medical Monitoring. *Journal of Medical Systems*, 40(6), 140. <https://doi.org/10.1007/s10916-016-0497-2>
- HIMSS Analytics. (2014). HIMSS Analytics Cloud Survey.
- Honeyman, J. C., Huda, W., Ott, M., Frost, M. M., Loeffler, W., & Staab, E. V. (1994). Picture archiving and communications systems (PACS). *Current Problems in Diagnostic Radiology*, 23(4), 103–158. [https://doi.org/10.1016/0363-0188\(94\)90004-3](https://doi.org/10.1016/0363-0188(94)90004-3)
- Jiang, P., Winkley, J., Zhao, C., Munnoch, R., Min, G., & Yang, L. T. (2016). An Intelligent Information Forwarder for Healthcare Big Data Systems With Distributed Wearable Sensors. *IEEE Systems Journal*, 10(3), 1147–1159. <https://doi.org/10.1109/JSYST.2014.2308324>
- King, K. R., Grazette, L. P., Paltoo, D. N., McDevitt, J. T., Sia, S. K., Barrett, P. M., ... Leeds, H. (2016). Point-of-Care Technologies for Precision Cardiovascular Care and Clinical Research. *JACC: Basic to Translational Science*, 1(1–2), 73–86.
- Lee, J., Kao, H.-A., & Yang, S. (2014). Service Innovation and Smart Analytics for Industry 4.0 and Big Data Environment. *Procedia CIRP*, 16, 3–

8. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.02.001>

Lowe, N., & Scott, W. L. (1996). Medical device reporting for user facilities. *FDA Center for Devices and Radiologic Health Website*.

Malec, B. (2016). Healthcare Information and Management Systems Society 2016. *The Journal of Health Administration Education*, 33(4), 625.

MHRA. (2014). Managing Medical Devices: Guidance for healthcare and social services organizations, (April), 60.

Miniati, R., Dori, F., Iadanza, E., Fregonara, M. M., & Gentili, G. B. (2011). Health technology management: A database analysis as support of technology managers in hospitals. *Technology and Health Care*, 19(6), 445–454.

Mkalaf, K. A. (2015). A study of current maintenance strategies and the reliability of critical medical equipment in hospitals in relation to patient outcomes.

Ren, L., Zhang, L., Tao, F., Zhao, C., Chai, X., & Zhao, X. (2015). Cloud manufacturing: from concept to practice. *Enterprise Information Systems*, 9(2), 186–209.

Schmidt, B., & Wang, L. (2016). Cloud-enhanced predictive maintenance. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 1–9. <https://doi.org/10.1007/s00170-016-8983-8>

Sezdi, M., & Ozdemir, E. (2014). BMED: a web based application to analyze the performance of medical devices. *Biomedical Engineering: Applications, Basis and Communications*, 26(3), 1450036.

Srovnal, V. (2005). Using of embedded systems in biomedical applications. In *Proceeding 3rd European Medical and Biological Engineering Conference EMBEC'05 Prague*.

Swanson, E. B. (1976). The dimensions of maintenance. In *Proceedings of the 2nd international conference on Software engineering* (pp. 492–497). IEEE Computer Society Press.

Wang, K. (2016). Intelligent Predictive Maintenance (IPdM) System-Industry 4.0 Scenario. *WIT Transactions on Engineering Sciences*, 113(1), 259–268.

Wang, K.-S., Li, Z., Braaten, J., & Yu, Q. (2015). Interpretation and compensation of backlash error data in machine centers for intelligent predictive maintenance using ANNs. *Advances in Manufacturing*, 3(2), 97–104.

World Health Organization. (2011). Medical equipment maintenance

programme overview.

Xu, X. (2012). From cloud computing to cloud manufacturing. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 28(1), 75–86.

Zhang, L., Luo, Y., Tao, F., Li, B. H., Ren, L., Zhang, X., ... Liu, Y. (2014). Cloud manufacturing: a new manufacturing paradigm. *Enterprise Information Systems*, 8(2), 167–187.

Zhou, G., Wang, Y., & Cui, L. (2015). Biomedical Sensor , Device and Measurement Systems. *Advances in Bioengineering*.
<https://doi.org/10.5772/59941>