

ÖLÇÜM CİHAZLARINA AİT KALİBRASYON PERİYOTLARI İÇİN RİSK ANALİZİ İNCELEMESİ VE KARAR DESTEK SİSTEMİ TASARIMI

Meryem ULUSKAN^{1*}, Yusuf BÖCÜ²

¹Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Eskişehir
ORCID No : <http://orcid.org/0000-0003-1287-8286>

²Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Eskişehir
ORCID No : <http://orcid.org/0000-0002-7975-2365>

Anahtar Kelimeler	Öz
Kalibrasyon periyodu Ölçüm cihazı Risk analizi Karar destek sistemi Ürün ve süreç kalitesi	<i>Bu çalışma, işletmeler için ileri düzey bir araç olarak, ölçüm cihazlarının kalibrasyon periyotlarını belirlemede kullanılacak olan bir karar destek sistem tasarımı önermektedir. Ölçüm cihazlarının kullanıldıkları koşullar her işletme için farklı olduğundan, uygulamada ölçüm cihazı kalibrasyon periyotları için belli bir standart yoktur ve bu periyotlar işletmeler tarafından geçmiş kullanım tecrübelerine bağlı olarak belirlenmektedir. Kullanılan ölçüm cihazlarının karakteristiğine özgü kalibrasyon periyotları, bu farklı koşullar göz önüne alınarak belirlenmelidir. Bu çalışmada, kalitede risk tabanlı bakış açısı yaklaşımı kullanılarak, ölçüm cihazı kalibrasyon periyotlarının belirlenmesindeki belirsizliğin ortadan kaldırılması ve iyileştirilmesi için bir risk analizi modeli tasarımı ve Microsoft Excel VBA tabanlı bir karar destek sistemi oluşturulması amaçlanmıştır. Risk analizinin gerçekleştirilebilmesi için farklı parametrelerden oluşan bir Risk Analizi Modeli tasarlanmış ve deneysel amaçlı olarak farklı ölçüm cihazlarına ait parametrelerin bulunduğu bir veri tabanı oluşturularak karar destek sistemi tamamlanmıştır. Bu çalışmada geliştirilen karar destek sistemi uygulaması ile işletmedeki tüm ölçüm cihazları için tek bir pota oluşturulmuş, tüm aşamalarda kullanıcıların ölçüm cihazları ile ilgili gerek duydukları tüm bilgilere ulaşması ve kalibrasyon için cihaz teslim tarihleri hakkında açık bilgi sahibi olmaları sağlanmıştır. Bu şekilde işletmelerde ölçüm cihazlarından kaynaklı sorunlar büyük miktarda ortadan kaldırılarak sistematik bir kalibrasyon planlaması mümkün kılınmıştır.</i>

RISK ANALYSIS FOR CALIBRATION PERIODS OF MEASURING INSTRUMENTS AND A DECISION SUPPORT SYSTEM DESIGN

Keywords	Abstract
Calibration Period Measuring Instruments Risk Analysis Decision Support System Product and process quality	<i>This study proposes a decision support system design, as an advanced tool that will be used to determine the calibration periods of measuring instruments for businesses. Since the conditions under which the measuring instruments are used vary for different organizations, there is no specific standard for measuring instrument calibration periods, and these periods are determined by the organizations based on their past usage experience. The calibration periods which are specific to the characteristics of the measuring instruments used should be determined taking these different conditions into account. In this study, it was aimed to create a risk analysis model design and a Microsoft Excel VBA based decision support system in order to eliminate and improve the uncertainty in determining the calibration periods of the measuring instruments by using a quality-based risk-based approach. In order to carry out the risk analysis in this study, a Risk Analysis Model consisting of different parameters has been designed and a decision support system has been completed by creating a database with parameters belonging to different measuring instruments for experimental purposes. With the decision support system application developed in this study, a single pot was created for all measuring instruments in the organization, and at all stages, users were provided with access to all the information they need about the measuring instruments and to have clear information about the instrument turn-in dates for calibration. In this way, a systematic calibration planning has been made possible by eliminating a large amount of problems caused by measuring instruments in the organizations.</i>
Araştırma Makalesi	Research Article
Başvuru Tarihi : 22.04.2020	Submission Date : 22.04.2020
Kabul Tarihi : 23.08.2020	Accepted Date : 23.08.2020

* Sorumlu yazar; e-posta : muluskan@ogu.edu.tr

1. Giriş

Ölçü ve test cihazlarının ölçüm değerlerinin, bilinen referans standartlarla karşılaştırılma ve tolerans değerlerine getirilme işlemine kalibrasyon süreci denilmektedir. Kalibrasyonun doğru zamanda veya akredite bir şekilde yapılmaması, işletmeler açısından istenmeyen sonuçlar doğurabilir. Ölçüm cihazlarının kalibrasyonun eksik veya yanlış olması durumunda, işletmelerde güvenliği riske sokan sonuçlar, itibar kaybı ile sonuçlanabilecek performans eksiklikleri veya sorunlar, kalibrasyondan kaynaklı yanlış üretim veya hizmet sonucunda oluşan israflar, dengesiz üretim sonucunda oluşabilecek maliyetlerdeki artış, ürün veya hizmette kalite düşüklüğü, memnun olmayan müşteriler, oluşan arızalar ve cihaz kayıpları ve hatta işletmeye tazminat davası olarak dönebilecek istenmeyen kazalar görülebilme ihtimali vardır.

Her ölçüm cihazı, kendine özgü bir ölçüm performansına sahiptir. Cihazın ölçüm özellikleri, ortam şartları ve kullanım şekline bağlı zaman içerisinde şekillenecek ve çalışma karakteristiğini etkileyecektir. Cihazların sık olarak kullanılması genellikle ölçüm özelliklerinin daha çabuk değişmesine sebep olur. Ayrıca algılayıcı olarak plastik veya cam tabanlı malzemeye sahip ölçüm cihazları gibi, hiç kullanılmasa da fizyolojisi dolayısıyla zamanla bozunabilen yapılar da mevcuttur. Kalibrasyon periyodunun ilk belirleme işlemi varsayım dayalı bir yaklaşımdır ve takip eden dönemlerde verilerle kontrolü şarttır (Nielsen, 1999). Yıllık olarak tekrarlanan kalibrasyonlarında sorun yaşanan bir cihazın 9 ay mı yoksa 6 ay gibi bir sürede mi karakteristiğinin değiştiği anlaşılamaz. Bu değişimin kesin anlaşılabilmesi için kurum içi kontrollerin daha sık yapılması ve kaydedilerek izlenmesi gerekir. Kalibrasyonlardaki tolerans dışı sonuçların çoğu kalibrasyon periyodunun kısaltılması gerektiği şeklinde yorumlanır. Periyodun uzatılması ise sadece cihaz hakkında yeterince uygun ve tekrarlı kalibrasyon verilerinin oluşması durumunda yetkili kişilerce yapılmalıdır. Olanı gerektiğinden kısa belirlenen kalibrasyon periyodu, bu hizmet dışarıdan alınıyorsa firmaya zaman ve mali açılarından kayıp getirebilir. Fakat olması gerekenden daha uzun belirlenmiş bir periyot aralığı ise, cihazın tolerans dışı çalışma riskini arttırıp, ölçüm güvenilirliğini azaltıp, daha sonra düzeltilmesi zor olabilecek sonuçlar ortaya çıkarabilir. Bu sebeple kalibrasyon sürelerinin belirlenmesi bu iki değer arasında bir en iyileme gerektirir.

Diğer taraftan *risk*, doğal veya beşeri faaliyetlerden kaynaklanan potansiyel kaybın bir ölçüsüdür (Modarres, 2006). Mühendislik sistemlerinde potansiyel kayıplar, bu tür faaliyetlerin olumsuz sağlık etkileri ile insan hayatı, mal veya müşteri kaybı şeklindeki olumsuz sonuçlarıdır. Risk analizi ise, potansiyel kayıpların varlığı, doğası, büyüklüğü,

yaygınlığı ile bu kayıplara katkıda bulunan faktörler ve belirsizlikler hakkında bilgilendirme ve yönetme sürecidir (Modarres, 2006). Risk analizi, işletmelerin işlevleri sırasında ortaya çıkabilecek risklerin önceden dikkatli bir biçimde ve ayrıntıları ile tanımlanıp değerlendirilmesi ve bu riskleri minimize edecek veya tam olarak ortadan kaldıracak önlemlerin alınması olarak tanımlanır. Bu bağlamda risk analizi geniş bir uygulama alanını kapsamaktadır. Bu farklı alanlara örnekler olarak: kimyasal süreç endüstrisi (örn. Villa, Paltrinieri, Khan ve Cozzani, 2016), yangın analizleri (örn. Watts ve Hall, 2016), sağlık alanı (örn. Kovatchev ve Cobelli, 2016), okyanus denizaltıları (örn. Xiang, Yu ve Zhang, 2017), tedarik zinciri (örn. Chiu ve Choi, 2016), akıllı ev otomasyon sistemleri (örn. Jacobsson, Boldt ve Carlsson, 2016), güvenilirlik mühendisliği (örn. Modarres, Kaminskiy ve Krivtsov, 2016), trafik alanında sisli havalarda kaza analizleri (örn. Wu, Abdel-Aty ve Lee, 2018), insan-makine sistemleri (örn. Vanderhaegen ve Carsten, 2017) ve endüstriyel kontrol sistemlerinin güvenliği ve güvenilirliğinin belirlenmesi (örn. Abdo, Kaouk, Flaus ve Masse, 2018) gibi uygulamalar verilebilir. Mühendislik sistemlerinde ise risk analizi, tasarımdan başlayarak üretimin tüm aşamalarında, kalite güvence, garanti oluşturma, güvenlik, takip gerekliliklerini ve planlarını tanımlama gibi pek çok farklı amaçla gerçekleştirilebilir. Bu amaçlarla, kantitatif risk analizi, riski bir kayıp olasılığı şeklinde tahmin etmeye çalışır ve bu olasılıkları karar vermek ve sonuçları sunmak için değerlendirir (Modarres, 2006).

Sonuç olarak bu çalışmada, ölçüm cihazları için kalibrasyon periyodu optimizasyonu üzerine literatürdeki metodoloji eksikliğini gidermek amacıyla, kalibrasyon periyotlarının risk tabanlı yeterliliğini test eden bir karar destek sistemi tasarlanmıştır. Çalışma sırasıyla, ilgili literatür taraması ve literatürdeki boşlukların belirlenmesi, araştırma tasarımı, metod ve uygulama bölümleri ile devam edecek, detaylı olarak anlatılan karar destek sistemi tasarımı sonrasında yer alan sonuçlar ve tartışma bölümü ile sonlanacaktır.

2. Bilimsel Yazın Taraması

2.1. Ölçüm Cihazları Kalibrasyonu Ve Ölçüm Sistemi Çalışmaları

Literatürde farklı üretim süreçleri kapsamında ölçüm sistemi analizi gerçekleştiren çeşitli çalışmalar mevcuttur (örn. Larsen, 2003; Peruchi, Paiva, Balestrassi, Ferreira ve Sawhney, 2014; Shaji, 2006; Smith, McCrary ve Callahan, 2007). Larsen (2003) çalışmasında ölçüm sistemi analizini (ÖSA) ele alarak, tek bir ölçüm cihazıyla tek bir ölçüm karakteristiği üzerinde yapılan analizleri genel bir analiz senaryosuna genişletmeyi amaçlamıştır. Bu genel analiz senaryosu, her cihazda birden fazla parametrenin test edildiği ve tekrar test etme ile onarım adımlarını içerebilecek bir

dizi testi içeren ortak bir üretim testi senaryosudur. Bu çalışmada sunulan yöntemler endüstriyel bir uygulamadan örnekler ile gösterilmiştir.

Peruchi ve diğ. (2014) çalışmalarında, ölçüm tekrarlanabilirliği ve yeniden üretilebilirliği (Gage R&R) analizi için çok değişkenli varyans analizi uygulayan çalışmalardan farklı olarak dört adet ağırlıklı yaklaşıma dayanan yeni çok değişkenli endeksler önermektedir. Bu şekilde, çok değişkenli Gage R&R çalışmalarında en etkili ağırlıklandırma stratejisinin, bir ölçüm sisteminin matrisinden çıkarılan özdeğerlerin yüzdelilerinin açıklanmasına dayandığını göstermektedir.

Smith ve diğ. (2007) sözel ve sayısal anketlere dayalı çalışmalarında, ölçüm tekrarlanabilirliği ve yeniden üretilebilirlik çalışmalarının (Gage R&R) diğer ÖSA iyileştirme yöntemleri kadar sık kullanılmadığını ortaya çıkarmıştır. Ayrıca Gage R&R'ın çoğunlukla bir denetim aracı olarak kullanıldığını ve ölçümlerin kök neden analizinde veya ölçüm sistemlerini düzeltmek için harekete geçmede kullanılmadığını belirtmektedirler. Son olarak, Gage R&R'ın görsel incelemede nadiren kullanıldığını sonucuna varmışlardır.

Shaji (2006) çalışmasında ÖSA araçları olan doğrusalılık, kararlılık ve Gage R&R'ın Texas Instruments Malezya'da başarıyla uygulanmasını anlatmaktadır. Bu çalışmada ÖSA'nın firmada hata oranlarını düşürmede ve kurulum süresini azaltmada yardımcı olarak verimi ve müşteri memnuniyetini artırdığını göstermektedir.

Bu çalışmaların tümünde sonuçta yapılmak istenen ölçüm sistemlerinde var olan değişkenliği en aza indirebilmektir. Ölçüm sisteminden kaynaklı değişkenliği azaltmanın bir yolu da ölçüm cihazlarının doğru ölçüm yapmasını sağlamaktır. Doğru ölçümler, ancak bakımı yapılmış, doğru ve düzenli olarak kalibre edilmiş ölçüm cihazları ile elde edilebilir. Bu açıdan incelendiğinde literatürde, kamera-projektör ölçüm sistemi ve metal test kuponlarında oluşan eğriliği ölçmeye yarayan Almen ölçüm cihazı gibi farklı özel cihazlar ve uygulama alanları için kalibrasyon çalışmaları mevcuttur (örn. Champaign, 2002; Chen, Xi, Jin ve Sun, 2009). Ayrıca, bir uçak metalinde veya kanadında meydana gelen şekil değişikliğini ölçen gerilme (gerinim) ölçer gibi tek bir uygulama veya ölçüm cihazı üzerine gerçekleştirilmiş olan çoğu kalibrasyon çalışması da genellikle güncel olmayan çalışmalardır (örn. Jenkins, Kuhl ve Carter, 1977; Selig, 1980; Skopinski, Aiken ve Huston, 1953). Görüldüğü gibi bu çalışmalar tek bir alan veya ölçüm cihazıyla sınırlı çalışmalardır. Benzer şekilde literatürde, bahsedilen çalışmalara oranla daha genel olarak nitelendirilebilecek, deniz havacılığı kalibrasyonu süreçlerinin verimini analiz eden araştırmalar gibi çalışmalar da mevcuttur (örn. Bevel, Johnson ve Stonaker, 2006). Tüm bu çalışmalar göz önüne alındığında, ölçüm cihazlarının kalibrasyon periyotları üzerine genel çalışmalar literatürde yok denecek kadar

az sayıdadır (örn. Türkoğlu, 2005). Ayrıca, literatürde ölçüm cihazları için sistematik kalibrasyon programlarının uygulanmasının gerekliliğini vurgulayan az sayıda çalışma mevcuttur (örn. Cox, 2005). Ancak bu çalışmalar da, sözel olarak öneriler sunmanın ötesine geçememiş ve uygulanabilecek somut bir araç geliştirmemiştir.

Diğer taraftan, ölçüm cihazları çok farklı uygulama alanlarında kullanıldığı için bu cihazlar aracılığıyla elde edilen ölçümlerin doğruluğu farklı aşamalarda hem işletmenin kendi bünyesinde hem de ürün müşteriye ulaştığında fark edilen sorunlara yol açabilmektedir. Benzer şekilde bu sorunlar farklı seviyelerde riskleri de beraberinde getirmektedir. Bu noktada ölçüm cihazlarının ve kalibrasyonlarının risk temelli analizi gerçekleştirilerek kalibrasyon ihtiyaçlarının belirlenmesi gereklidir. Bu konuda literatürde belirgin bir çalışma bulunamamıştır.

2.2. Ölçüm Cihazları Kalibrasyonu Ve Toplam Verimli Bakım Çalışmaları

Toplam Verimli Bakım (TPM), mükemmel üretime ulaşmak için kullanılan cihazların bakımına yönelik bütünsel bir yaklaşımdır. Toplam Verimli Bakım konsepti ilk olarak 1971 yılında Japonya'da Toyota Motor Company'nin bir tedarikçisi olan Nippon Denso Co. Ltd. tarafından tanıtılmıştır (Ahuja ve Khamba, 2008). TPM, cihazların operasyonel verimliliğini en üst düzeye çıkarmak için proaktif ve önleyici bakımı vurgular. Operatörlerin cihazlarını korumalarına yardımcı olmaları gerektiğine vurgu yaparak üretim ve bakım rolleri arasındaki bağı güçlendirir. Bir TPM programının uygulanması, kullanılan cihazlar için operatörlerin daha fazla katılımını teşvik eden ortak bir sorumluluk oluşturur. Kısaca, TPM, cihazların verimliliğini en iyileyen, arızaları ortadan kaldıran yenilikçi bir yaklaşım olarak operatörlerin günlük faaliyetleri yoluyla otonom cihaz bakımını teşvik etmektedir.

Literatürde çok sayıda Toplam Verimli Bakım çalışması mevcuttur (örn. Ahmad ve Shahwaz, 2015; Ahmed, Hassan ve Taha, 2005; Ferrari, Pareschi, Regattieri ve Persona, 2002). Bu çalışmalar farklı alan ve endüstrilerde, üretim süreçlerinde direkt olarak kullanılan makinelerin ve cihazların bakımları üzerine gerçekleştirilmiştir. Diğer taraftan, az sayıda çalışma cihaz kalibrasyonu ve eğitimlerinin öneminden bahsetse de (örn. Ahmed ve diğ., 2005; Graisa ve Al-Habaibeh, 2011), toplam verimli bakım çalışmaları kapsamında literatürde ölçüm cihazları kalibrasyonunu ve bunların planlanmasını doğrudan konu alan çalışma bulunmamaktadır.

Cihazların kalibrasyonundan bahseden sayılı çalışmalardan olan Graisa ve Al-Habaibeh (2011), bu çalışmalarında 130 mühendis ve teknik personelle

anket gerçekleştirmiş ve katılımcıların %27'sinin işletmelerinde kalibrasyon uygulamalarının yapıldığı, %51,5'inin kalibrasyon uygulamaları yapmadığı ve katılımcıların %21,5'inin işletmelerinde kalibrasyon uygulamaları olup olmadığını bilmedikleri sonucuna ulaşmışlardır. Bu sonuç, işletmelerde toplam verimli bakım uygulamaları yapılırsa dahi, değil ölçüm sistemi kalibrasyonunun varlığından söz etmek, çoğu işletmede cihaz kalibrasyonu uygulamalarının bile açık bir şekilde gerçekleştirilmediğini göstermektedir.

Sonuç olarak, literatürde ölçüm cihazları için kalibrasyon zamanları ve ne sıklıkla yapılacağı üstüne bir standart bulunamamıştır. Ölçüm cihazlarının taşıdığı koşullara göre çalışma karakteristiği değişecektir, bu sebeple bu farklı koşullar göz önüne alınarak kullanılan ölçüm cihazlarının karakteristiğine özgü kalibrasyon periyotları belirlenmelidir. Bu kalibrasyon periyotları işletmeler tarafından tecrübe ile belirlenmektedir. Bu nedenle, literatürdeki ve uygulamadaki bu boşlukları doldurmak adına ölçüm sistemi kalibrasyonu üzerine çalışmalar gerçekleştirmek gerekliliği vardır.

2.3. Ölçüm Cihazlarının Kalibrasyonu Ve Risk

Ölçüm cihazı kalibrasyonu göz önüne alındığında, bir işletme bu kalibrasyon işlemlerini kendi bünyesinde gerçekleştiriyorsa kalibrasyonun ne zaman yapılacağı cevaplanması gereken en temel sorudur. Bu soruya verilebilecek basit, fakat yetersiz cevaplar şu şekilde olacaktır: "Gerekli olduğunda" veya "En uygun veya müsait zamanımızda". Fakat kalibrasyon, cihazın performansının kullanımına uygun olmasını sağlamak için düzenli aralıklarla tekrarlanmalıdır (Payne, 2005). Bu nedenle daha sistematik olarak bakıldığında, "Tüm mikrometreler her altı ayda bir kalibre edilecek" gibi keyfi bir zaman senaryosu oluşturmak kolay bir politika gibi görünebilir. Ancak farklı ölçüm cihazları -örneğinimizdeki gibi aynı tür bile olsa - için doğru bir şekilde gözden geçirilmemesi durumunda, kurum içi kalibrasyon bazı ölçüm cihazları için çok sık, diğer cihazlar için yeterince sık olmayabilir.

Bundan dolayı, kalibrasyon uygulamaları, müşteriye istenmeyen kalitede ürünlerin gönderilmesine neden olabilecek aşınmış veya hasarlı bir ölçüm cihazı oluşma riskini en aza indirecek veya bu şekilde olan bir ölçüm cihazı riski hiç bulunmayacak bir sıklıkta yapılmalıdır (Cox, 2005). Ayrıca kalibrasyon sürecinde bakım ve kalibrasyon işlemlerinin yanı sıra, cihazlar için kullanım esnasında uygun ayarlar yapılmalıdır (Çoruh, 2008). Düzenli ve açık bir kalibrasyon planlaması ve uygulaması, başarılı ve risksiz bir üretim/hizmet sağlama şansını artırmaktadır (Cox, 2005).

Sağlık, güvenlik ve finansal gibi farklı kategorileri olan risk, doğal veya beşeri faaliyetlerden kaynaklanan potansiyel kaybın bir ölçüsüdür (Modarres, 2006). Mühendislik sistemlerinde potansiyel kayıplar, bu tür

faaliyetlerin olumsuz sağlık etkileri ile insan hayatı kaybı, mal kaybı ve müşteri kaybı şeklindeki olumsuz sonuçlarıdır. Risk analizi ise, potansiyel kayıpların varlığı, doğası, büyüklüğü, yaygınlığı, katkıda bulunan faktörler ve belirsizlikler hakkında bilgilendirme ve yönetme sürecidir. Mühendislik sistemlerinde risk analizi, tasarımdan başlayarak üretimin tüm aşamalarında, kalite güvence, garanti oluşturma, güvenlik, takip gerekliliklerini ve planlarını tanımlama gibi pek çok farklı amaçla gerçekleştirilebilir. Bu amaçlarla, kantitatif risk analizi, riski bir kayıp olasılığı (veya sıklığı) şeklinde tahmin etmeye çalışır ve bu olasılıkları karar vermek ve sonuçları sunmak için değerlendirir (Modarres, 2006).

Sonuç olarak, kullanıcıya zarar verme riskini yok edecek, üretimde yaratacağı duruşları veya kayıpları en aza indirecek ve müşteriye istenen kalitede ürünlerin gönderilmesine yardımcı olacak şekilde, tüm bu riskleri ortadan kaldıracak bir ölçüm cihazı kalibrasyon sistemi ve uygulaması gerçekleştirilmelidir. Belirtilen bu nedenlerle, bu çalışma kapsamında, kalibrasyon periyodunun en iyilenmesi (optimizasyonu) üzerine metodoloji eksikliğini gidermek amacıyla, ölçüm cihazlarının kalibrasyon periyotlarının risk tabanlı yeterliliğini test eden ve kalibrasyon periyotlarını belirlemede kullanılacak olan bir karar destek sistemi tasarlanmıştır.

2.4. Bakım Operasyonları Üstüne Karar Destek Sistemi Tasarımları

Günümüzde küresel olarak mevcut olan yoğun rekabet ortamında, üretkenlik, kullanılabilirlik, kalite ve operasyon maliyeti gibi faktörler bir şirketin başarısında hayati bir rol oynamaktadır. Bu faktörlerin hepsiyle ilişkili olan kritik bir bileşen *bakımdır* (Li, Ambani ve Ni, 2009). Bakım, bir tesisin veya fabrikanın orijinal üretim kapasitesini devam ettirebilmek için gereken faaliyetler olarak tanımlanabilir. Bu nedenle bakım katma değerli bir aktivitedir (Gandhi ve Ng, 2018). Pazarda başarılı bir şekilde rekabet edebilmek için, önde gelen üretim işletmeleri etkin bakım operasyonlarını sürdürmektedir (Ni ve Jin, 2012). Literatürde bakım kararları üstüne çalışmalar mevcuttur (örn. Dababneh, Li, Shah ve Haefke, 2018; Damerdjı ve Nouredine, 2017; Wakiru, Pintelon, Muchiri ve Chemweno, 2019). Bakım kararları alınırken diğer tüm operasyonlarda olabildiği gibi *karar destek sistemlerinden* yararlanılabilir. Karar destek sistemleri karar vericilere yardımcı olmak amacıyla veri, belge, bilgi ve iletişim teknolojilerini ve/veya modelleri kullanarak problemleri tanımlamayı, çözmeyi ve karar vermeyi sağlayan interaktif bilgisayar sistemleridir. Geleneksel *bakım karar destek sistemleri* öncelikle tek bir makine sisteminin kazanımlarını en üst düzeye çıkarmaya odaklanmıştır. Ancak, gerçek hayattaki bir uygulama genellikle birden fazla makineden oluşur ve

operasyonel düzeydeki kararlar daha karmaşıktır (Li ve diğ., 2009). Mevcut bilgisayarlı bakım yönetim sistemleri ise artık dinamik bakım işlemlerinin ihtiyaçlarını karşılayamamaktadır (Ni ve Jin, 2012). Üretimde gelecekteki karar verme süreçlerinin, bakım karar destek sistemleri ile uyumunu sağlamak için daha esnek olması gerekmektedir (Gandhi ve Ng, 2018). Bu nedenle gerçek uygulamalar üstüne geliştirilecek olan ileri bakım karar destek sistemi çalışmaları literatüre katkı sağlayacaktır.

Literatürde bakım karar destek sistemlerini ele alan çalışmalar incelendiğinde bu çalışmaların işletmelerdeki genel makine bakımları üzerine gerçekleştirildiği ve ölçüm cihazları için bakım ve kalibrasyon üstüne bir karar destek sistemi çalışmasının olmadığı görülmüştür. Örnek olarak, literatürde bulunan çalışmalardan olan Li ve diğ. (2009)'nin çalışmasında genel sistem performansını iyileştirmek için kısa vadeli ve uzun vadeli karar verme sürecini birleştirerek kısa vadede sürekli karı en üst düzeye çıkarmaya çalışarak çevrimiçi bir *tesis düzeyinde bakım karar destek sistemi* geliştirilmiştir. Tesis düzeyinde bakım yaklaşımı iki temel amaca hizmet etmektedir: (1) makinelerin kalan kullanım ömrünü tahmin ederek planlanmamış aksaklık süresinin azaltılması ve (2) kritik iş makinelerini tanımlayarak sonlu bakım ve üretim kaynaklarının verimli kullanımı. Bu nedenle Li ve diğ. (2009) çalışmalarında tesis düzeyinde bakım yaklaşımını kullanarak bir otomotiv montaj hattında geleneksel bakım politikalarına kıyasla büyük bir verim artışı elde etmişlerdir.

Benzer şekilde bakım karar destek sistemleri üzerine yine direkt bir çalışma olan Ni ve Jin (2012) çalışmalarında etkili bakım operasyonları için geliştirilen karar destek araçlarını açıklamaktadır: (1) veriye dayalı kısa vadeli verim darboğaz tanımlama, (2) bakım fırsat pencerelerinin tahmini, (3) bakım görevlerinin önceliklendirilmesi, (4) ortak üretim ve bakım planlama sistemleri ve (5) bakım personeli yönetimi. Çalışmalarında bu bahsedilen karar destek sistemi kavramlarını göstermek için matematiksel algoritmalar ve simülasyon araçları kullanılmıştır. Son olarak otomotiv imalatındaki gerçek uygulamalardan elde edilen sonuçlar, bu araçların etkinliğini göstermek için sunulmuştur (Ni ve Jin, 2012).

Ye, Strong, Shi, Conger ve Huft (2009) çalışmalarında iyi bir yatırım olup olmadığını belirlemek amacıyla *bakım karar destek sisteminin (BKDS)* uygulamaya ilişkin somut faydaları ve maliyetleri incelemiştir. Çalışmaları, BKDS'nin fayda-maliyet analizinin sonuçlarını sunmaktadır. Kullandıkları analiz yönteminin geliştirilmesi, fayda ve maliyetlerin tanımlanmasını, temel durum ve alternatiflerin belirlenmesini ve bir fayda-maliyet modelinin geliştirilmesini içermektedir. Analiz için bir temel durum (BKDS'siz) ve diğer iki alternatif (BKDS'li) tanımlanmıştır. Ye ve diğ. (2009) bu

yöntemi uygulayan bir vaka çalışması ile BKDS'nin uygulanmasının fayda sağladığını göstermektedir.

Tahir, Prabuwo ve Aboobaid (2008) çalışmalarında bulanık mantıkla desteklenmiş olan bakım karar destek sistemini arıza sıklığını ve kesinti süresini hesaplayan bir bakım optimizasyon modeli oluşturmak için kullanmıştır. Diğer çalışmalardan farklı olarak bu uygulamayı sınırlı modeller kullanan küçük ve orta ölçekli işletmelerde uygulamıştır.

Rasoyska, Chebel-Morello ve Zerhouni (2005) çalışmalarında web tabanlı e-bakım için genel bir yazılım mimarisi geliştirmiştir. Çalışmalarında amaç bakım stratejisini optimize etmek, bakım performansını ve güvenilirliğini artırmak ve son olarak bakım maliyetlerini azaltmak için iyi bir teknik ve yönetim desteği sunmaktır. Rasoyska ve diğ. (2005) problem çözme yöntemi olarak bu yazılım mimarisine dayanan bakım müdahalesi için bir karar destek sistemi önermiştir.

Labib (2004) çalışmasında, endüstrideki ihtiyaçları vurgulamak ve mevcut eksiklikleri belirlemek için *bilgisayarlı bakım yönetim sistemlerinin* özelliklerini araştırmıştır. Bu çalışmada amaç önerilen modelle, mevcut bilgisayarlı bakım yönetim sistemlerinde genellikle eksik olan bir karar analizi yeteneği oluşturmaktır. Diğer bir deyişle, bakıma yardımcı olmak için bilgi ihtiyacını tanımlamak ve ardından mevcut bilgisayarlı bakım yönetim sistemlerinde bulunan eksikliklerin önlemlerini almaktır (Labib, 2004).

Fernandez, Labib, Walmsley ve Petty (2003) çalışmalarında, İngiltere'de faaliyet gösteren bir disk fren balatası üretim işletmesi için bir *bilgisayarlı bakım yönetim sistemi* tasarlamış, geliştirmiş, özelleştirmiş ve uygulamıştır. Bu çalışmada uygulanan bilgisayarlı bakım yönetim sistemi ile bakım faaliyetlerinin verimliliğini ve etkinliğini artırarak makinelerin toplam arıza süresini ve arıza sıklığını azaltmak amaçlanmıştır. Bakım planlamacılarına karar analizi ve desteği için bir platform sağlayan bu bilgisayar programı, uygulama yapılan şirkette kullanılmakta olan kağıt tabanlı raporlama sistemine kıyasla veri elde etme sürecini basitleştirmiş ve süresini azaltmıştır (Fernandez ve diğ., 2003).

Bumblauskas, Gemmill, Igou ve Anzenruber, (2017)'in çalışmalarının amacı, bir Fortune 500 şirketinden elde edilmiş olan kurumsal verilere dayanan bir *akıllı bakım karar destek sisteminin* mimari tasarımını ve kavramsal çerçevesini özetlemektir. Bu çalışmada bir elektrik devre kesici bakım sorunu için bir vaka çalışmasına iki analitik karar modeli geliştirilmiş ve uygulanmıştır. Bu çalışma ile yazarlar büyük veri analitiği ve önleyici bakım kararları için hızla değişen iş ortamlarından hareketle, son kullanıcılara iyileştirmeler için öneriler sunabilecek bir sistem oluşturmuştur (Bumblauskas ve diğ., 2017).

Dey (2004) çalışmasında bir boru hattı teftişi için harcanan zamanı azaltan riske dayalı bir karar destek sistemi (DSS) sunmuştur. Bu çalışmada riske dayalı DSS oluştururken spesifik bölümler üzerindeki başarısızlığı etkileyen faktörleri belirlemek ve bu risk faktörlerinin ortaya çıkma olasılığını belirleyerek etkilerini analiz etmek için analitik hiyerarşi süreci (AHP) kullanılmıştır. Başarısızlığın şiddeti sonuç analizi ile belirlenmiştir. Bu çalışmada önerilen metodoloji ayrıca tüm boru hattı sistemi için denetim ve bakım politikasının elde edilmesine yardımcı olmakta, yeni boru hatları için tasarım metodolojisi önermektedir (Dey, 2004).

Son olarak, bakım üstüne literatür taramaları da mevcuttur. Endüstride bakım kararlarının verildiği uygulama alanlarını, bu alanlar arasındaki ilişkileri ve kullanılan araç ve yöntemleri ele alan bir literatür taraması olan Ruschel, Santos ve Loures (2017)'in çalışmasında, karar destek sistemleri ele alınmamış ve sadece bakım çalışmaları için uygulama alanları verilmiştir. Diğer taraftan, sistematik literatür taraması yoluyla bakım karar destek sistemleri için çeşitli yöntemleri ve kullanılan araçları sınıflandıran literatür taramaları da mevcuttur (örn. Gandhi ve Ng, 2018). Ancak bu literatür taraması da, bakım çalışmalarında kullanılan yöntemler ve araçlar üzerine odaklanmış ve yine ölçüm sistemi ve cihazlarının bakımı üzerine özellikli olarak odaklanmış bir çalışmadan bahsedilmemiştir.

Tüm bu çalışmalar göz önüne alındığında, literatürde yer alan karar destek sistemi çalışmalarının sadece genel bakım üstüne odaklı olduğu ve toplam verimli bakım kapsamında ölçüm sistemi cihazlarının kalibrasyon süreçlerini ele alan ve bu süreçleri düzenlemeyi amaç edinen spesifik bir çalışmanın olmadığı görülmektedir. Bu noktada, mevcut çalışmamız literatürde görülen bu önemli boşluğu hem teorik hem de uygulama açısından doldurmayı amaçlamaktadır.

3. Araştırma Tasarımı

Bu çalışmada kullanılan risk analizi modelinin tasarlanması aşamasında, risk değerlendirme çalışmalarında kullanılan Fine Kinney yönteminden ilham alınmıştır. Bu nedenle, Fine Kinney yöntemi bu bölümde kısaca açıklanacaktır.

Fine Kinney yöntemi, risk değerlendirmede yaygın olarak kullanılan sistematik yöntemlerden biridir (Kokangül, Polat ve Dağsuyu, 2017). 1971 yılında Fine Kinney tarafından geliştirilip önerilen bu yöntem, daha sonra Kinney ve Wiruth (1976) tarafından yeniden ele alınarak daha ayrıntılı bir risk analizi yöntemi haline getirilmiştir (Aydın, Çidem ve Kahya, 2018). Bu yöntemde, risk değeri karşılaştırılmak istenen süreç ve cihazlar için üç risk faktörü çarpılarak belli bir risk değeri (puanı) hesaplanır. Bu üç risk faktörü:

- Olasılık (zaman içinde zarar ya da hasarın gerçekleşme olasılığı) (Olasılık skalası Tablo 1'de

verilmiştir),

- Frekans (tehlikeye maruz kalma sıklığı) (Frekans skalası Tablo 2'de verilmiştir),
- Şiddet (tehlikenin gerçekleşmesi halinde insan, çevre ve iş ortamı üzerinde oluşturacağı zarar ya da hasarın şiddeti) (Şiddet skalası Tablo 3'te verilmiştir)'tir (Özçelik, 2013).

Burada frekans, bir olayın bir birim süre boyunca (belirli bir zaman aralığı için) ne sıklıkta gerçekleştiğinin bir ölçüsüdür (gerçekleşme sayısıdır). Olasılık ise matematiksel tanımı gereği bir olayın meydana gelip gelmeyeceği ihtimalini ölçmektedir. Fine Kinney metodunda bu iki faktör birbirini tamamlayıcı nitelik taşımaktadır.

Sonuçta, üç faktörün çarpımı olarak hesaplanan risk değerlerine göre Tablo 4'te verilen eylemler gerçekleştirilir.

Tablo 1

Fine Kinney Olasılık Skalası

Değer	Kategori
0,2	Pratik Olarak İmkânsız
0,5	Zayıf Olasılık
1	Oldukça Düşük Olasılık
3	Nadir Fakat Olabilir
6	Kuvvetle Muhtemel
10	Çok Kuvvetli Olasılık

Tablo 2

Fine Kinney Frekans Skalası

Değer	Açıklama	Kategori
0,5	Çok Nadir	Yılda bir ya da daha az
1	Oldukça Nadir	Yılda bir ya da birkaç kez
2	Nadir	Ayda bir ya da birkaç kez
3	Ara Sıra	Haftada bir ya da birkaç kez
6	Sıklıkla	Günde bir ya da birkaç kez
10	Sürekli	Sürekli ya da saatte birden fazla

Tablo 3

Fine Kinney Şiddet Skalası

Değer	Açıklama	Kategori
1	Dikkate Alınmalı	Hafif- Zararsız veya önemsiz
3	Önemli	Minör- Düşük iş kaybı, küçük hasar, ilk yardım
7	Ciddi	Majör- Önemli Zarar, Dış tedavi, işgünü kaybı
15	Çok Ciddi	Sakatlık, uzuv kaybı, çevresel etki
40	Çok Kötü	Ölüm, Tam maluliyet, Ağır çevre etkisi
100	Felaket	Birden çok ölüm, önemli çevre felaketi

Tablo 4

Fine Kinney Risk Düzeyine Göre Karar Eylemi

Risk Değeri	Karar	Eylem
R<20	Kabul Edilebilir Risk	Önlem öncelikli değildir.
20<R<70	Olası Risk	Süreç gözetim altında tutulmalıdır. Eylem planına alınabilir.
70<R<200	Önemli Risk	Dikkatle izlenmeli ve yıllık eylem planına alınarak giderilmeli
200<R<400	Yüksek Risk	Kısa vadeli eylem planına alınarak giderilmeli
R>400	Çok Yüksek Risk	Çalışmaya ara verilerek derhal tedbir alınmalı

4. Yöntem ve Uygulama

Bu araştırmada tasarlanmış olunan risk analizi tabanlı karar destek sistemi, bir işletmede pratikte uygulanabilecek şekilde ve ölçüm cihazlarından kaynaklanabilecek olan risklerin tüm yönleri ele alınarak yapılandırılmıştır. Bu nedenle bu çalışmada ölçüm cihazlarının kalibrasyon periyotlarının risk tabanlı değerlendirilmesi için tasarlanmış olan risk değeri 6 parametreden oluşmaktadır. Bu parametreler kısaca şu şekildedir:

- p_1 : Kalibrasyon periyodu (gün) / 360 (p_1 : Cihazın kaç günde bir kalibre edildiği / 360)
- p_2 : Cihaz kullanım sıklığı (ölçüm cihazının hangi sıklıkta kullanıldığı)
- p_3 : Fark edilebilirlik (olası hata/yanlış ölçüm durumunda hatanın fark edilebildiği birim)
- p_4 : Fonksiyonel hata etkisi (cihazın yanlış kalibrasyonu sonucunda oluşan bir hatadan, üretimi yapılan herhangi bir parça veya üründe oluşabilecek çalışmayı engelleyici etki)
- p_5 : Güvenlik hata etkisi (cihazın yanlış kalibrasyonundan kaynaklı oluşabilecek bir hata sonucunda, güvenlik açısından oluşan etki büyüklüğü)
- p_6 : Üretime katkı parametresi (cihazın yanlış kalibrasyon ile çalışmaya devam etmesi durumunda, genel üretim sürecinde yaratabileceği olumsuz etki derecesi)

Parametrelerin detaylı açıklamaları ve değer tabloları aşağıda verilmiştir.

Kalibrasyon Sıklığı (p_1), ölçüm cihazlarının kalibrasyon sıklığına dair bilgiyi içerir. p_1 parametresi hesaplanırken ölçüm cihazının kaç günde bir kalibre

edildiği bilgisi, 1 yıl olarak kabul edilen 360 değerine bölünür (p_1 :Cihazın kaç günde bir kalibre edildiği / 360). Bu değer kalibrasyon aralığı sıklaştıkça küçülecek ve risk seviyesini azaltacaktır.

Kullanım sıklığı (p_2), ölçüm cihazının bulunduğu birimde hangi sıklıkta kullanıldığı bilgisini içerir. Kullanım sıklığına göre atanan değerler Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5

Kullanım Sıklığı Skalası

Değer	Kategori
2	Yılda birkaç
4	Ayda bir
6	Haftada bir
8	Haftada birkaç
10	Günde bir
12	Günde birkaç
14	Günde yirmiden fazla
16	Günde kırktan fazla
18	Sürekli çalışır durumda

Fark edilebilirlik (p_3), yanlış ölçüm durumunda hatanın fark edilebileceği olası birime göre 3 kategoriden oluşmaktadır. Cihaz hatalı ölçüm yaptığı veya bir hataya sebep olduğunda bu potansiyel hata,

1. Üretim işlemi öncesinde fark edilebiliyor ise *işleme öncesi fark edilen* kategorisinde,
2. Üretim işlemi sırasında fark edilebiliyor ise *işlenme sırasında fark edilen* kategorisinde,
3. İşletme içerisinde fark edilmeyip, müşteri bünyesinde ortaya çıkıyor ise *müşteri bünyesinde ortaya çıkan* kategorisinde ele alınır.

Hatanın fark edilebildiği süreç kategorisi ve atanan ilgili değerleri Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6

Fark Edilebilirlik Skalası

Değer	Kategori
3	İşleme öncesi fark edilen
5	İşlenme sırasında fark edilen
7	Müşteri bünyesinde fark edilen

Fonksiyonel hata etkisi (p_4), 3 kategoriden oluşur. Cihazın yanlış ölçümü sonucunda oluşan bir hatadan, üretimi yapılan herhangi bir parça veya üründe,

1. Çalışmayı engelleyici veya performans düşüklüğü yaratacak bir hata oluşmuyor ise *önemsiz* kategorisinde,
2. Çalışmayı engelleyici veya performans düşüklüğü yaratacak bir hata oluşabiliyor ise *önemli* kategorisinde,

3. Yanlış ölçüm sonucu oluşan hata kaynaklı üretimi yapılan ürün çalışmıyor ise *çok önemli* kategorisinde ele alınır.

Fonksiyonel hata etkisi kategorileri ve ilgili değerleri Tablo 7'de verilmiştir.

Tablo 7

Fonksiyonel Hata Etkisi Skalası	
Değer	Kategori
1	Önemsiz
3	Önemli
5	Çok önemli

Güvenlik hata etkisine (p_5) göre ölçüm cihazı, cihazın yanlış ölçümünden kaynaklı oluşan potansiyel bir hata sonucunda,

1. Hiçbir şekilde güvenliği riske eden bir durum oluşmuyor ise *önemsiz* kategorisinde
2. İlk yardım veya sakatlanma ile sonuçlanabilen bir hata/kaza oluşma ihtimali var ise *önemli* kategorisinde
3. Ölüm ile sonuçlanabilecek bir güvenlik tehlikesi oluşturabiliyorsa *çok önemli* kategorisinde ele alınır.

Güvenlik hata etkisi kategorileri ve ilgili değerleri Tablo 8'de verilmiştir.

Tablo 8

Güvenlik Hata Etkisi Skalası	
Değer	Kategori
1	Önemsiz
3	Önemli
7	Çok önemli

Üretim katkı parametresi (p_6), ölçüm cihazının yanlış ölçüm yaptığı durumlarda genel üretim süreci üzerinde oluşturabileceği etkiyi temsil eder. 3 kategoriden oluşur. Cihazın yanlış ölçümünden kaynaklı oluşabilecek bir hata durumunda,

1. Üretim aksamadan ve yıpranmadan devam ediyorsa *az önemli* kategorisinde,
2. Üretimde geriye dönük yeniden işleme ihtiyacı doğuyorsa *önemli* kategorisinde,
3. Üretim duruyorsa *çok önemli* kategorisinde ele alınır.

Üretim katkı parametresi kategorileri ve ilgili değerleri Tablo 9'da verilmiştir.

Tablo 9

Üretim Katkı Parametresi Skalası	
Değer	Kategori
1	Az Önemli
3	Önemli
5	Çok önemli

Ölçüm cihazları için risk değerleri bu 6 parametrenin çarpımı olarak Denklem (1)'deki gibi hesaplanır:

$$Risk\ Değeri = p_1 * p_2 * p_3 * p_4 * p_5 * p_6 \quad (1)$$

Denklem (1) kullanılan yöntem çıktısı olan *risk değerini* bulmakta kullanılmaktadır. Denklem (1) yardımıyla bulunan risk değeri, Tablo 10'da gösterildiği gibi sınıflandırılarak, yorumlamalar yapılmaktadır.

Belirlenmiş olan parametreler için kategori değerleri göz önüne alınarak ölçüm cihazları için elde edilebilecek risk değerleri ve hesaplanacak olan bu risk değerine göre ilgilenilen ölçüm cihazının dahil olacağı risk grupları Tablo 10'da gösterildiği gibi belirlenmiştir.

Tablo 10'da belirtilen değerler için, çalışma sırasında risk gruplarını temsil edebilecek durumlar oluşturulmaya çalışılmış, ardından bulunan risk değerlerine göre sınıflandırmalar belirlenmiştir.

Tablo 10.

Risk Düzeyine Göre Gruplandırma

Risk Değeri	Sınıflandırma
Risk Değeri < 300	İncelenebilir Risk Grubu
300 ≤ Risk Değeri ≤ 1400	Kabul Edilebilir Risk Grubu
1400 < Risk Değeri	Yüksek Risk Grubu

Tablo 5-10'da verilmiş olan risk parametreleri, uygulanan metodoloji çok karışık olmayacak fakat yeterli miktarda çeşitli durumu içerisinde bulunduracak şekilde belirlenmeye çalışılmıştır. Parametre skalaları ve metodoloji tasarlanırken, yapısal olarak Fine-Kinney yönteminden ilham alınmıştır. Örneğin; kullanım sıklığı (p_2) parametresinde Fine-Kinney frekans skalası; güvenlik hata etkisi (p_5) parametresinde Fine-Kinney şiddet skalası ve risk tabanlı bakış açısına göre karar eylemi yaklaşımı, gibi benzerlikler kurulabilir. Tablolarda tek-çift gibi değerler belirlenirken, risk değerini artırmaması düşünülen durumlar için çarpımda etkisiz eleman olan 1 değeri atanmış, izleyen artışlar da risk değerinde oluşturulması istenen etkiye göre belirlenmiştir.

Tablo 10'da belirlenen risk grupları çalışmanın uygulanacağı alana, işletme yapısına ve faaliyet gösterdiği endüstriye göre yeniden şekillendirilebilir. Çünkü işletmenin risk seviyelerine bakış açısı ve hangi risk seviyesinde eylem alması gerektiği, ilgili işletmenin vereceği stratejik karara bağlı olmaktadır.

Bu çalışmada, geneli kapsayacak şekilde 0 ile 300 arası risk değeri taşıyan ölçüm cihazları *incelenebilir risk grubu* içerisinde tanımlanmıştır. İncelenebilir risk grubunda bulunan cihazlar için, "bulunduğu koşullar

nedeniyle düşük risk taşıdıkları" yorumu yapılabilir ve cihazın kalibrasyon periyodu gerektiği kadar genişletilerek sisteme esnek bir yapı kazandırma şansı elde edilebilir. Böylece kontrol-kalibrasyon işlemi kaynaklı gereğinden fazla harcanan iş süresi azaltılmış olunarak israftan kaçınılır.

300 ile 1400 arasında risk değerine sahip cihazlar ise *kabul edilebilir risk grubu* içerisinde tanımlanmış olup, bu grupta bulunan cihazlar için, optimum değere ulaşma hedefi güdülebilir. Ancak gruplara alınacak eylem önceliği sırasıyla Yüksek Risk Grubu, İncelenebilir Risk Grubu, Kabul Edilebilir Risk Grubu şeklinde önerilmektedir. Bu nedenle *kabul edilebilir risk grubu* için optimum değere ulaşma hedefi güdüldürse diğer öncelikli gruplardan sonra incelemeye tabii tutulabilir.

Başka bir risk grubu ise, risk değeri 1400'den fazla olan cihazlar için tanımlanmış olan *yüksek risk grubudur*. Bu grupta bulunan cihazlar için "bulunduğu koşullar nedeniyle yüksek risk taşıdığı ve öncelikli olarak aksiyon alınması gerektiği" yorumu yapılabilir. Cihazın taşıdığı risk değerini azaltmak için hangi parametrelerden kaynaklı yüksek risk taşıdığı tespit edilip bu parametreleri, dolayısıyla risk değerini iyileştirmek için çalışmalar yapılabilir.

Yüksek risk grubunda bulunan bir ölçüm cihazı için risk değerini azaltma hedefi güdüldüğünde, risk oluşturan kaynakları yani taşıdığı çalışma koşullarını değiştirmek mümkün değil ise kalibrasyon periyodu sıklaştırma yöntemine gidilebilir. Örneğin risk değeri parametreleri aşağıdaki gibi olan bir ölçüm cihazı için kalibrasyon periyodu 360 gün iken risk değeri 1890 olmakta ve ölçüm cihazı yüksek risk grubuna ait olmaktadır.

- p_1 : 360 (kalibrasyon periyodu) / 360 (1 yıldaki gün sayısı)
- p_2 : Sürekli çalışır durumda
- p_3 : Müşteri bünyesinde fark edilen
- p_4 : Çok önemli
- p_5 : Önemsiz
- p_6 : Önemli

Bu ölçüm cihazının risk değerini azaltmak için, risk değerini kabul edilebilir risk grubu sınırları içerisine [$300 \leq \text{Risk Değeri} \leq 1400$] çekecek şekilde, kalibrasyon periyodu [58 -266] gün aralığında değiştirilebilir. Kalibrasyon işlemlerinde yığılma olmadığı varsayılarak kabul edilebilir risk seviyesi içerisinde bulunacak şekilde, kalibrasyon periyodu 266 gün olarak belirlendiğinde, risk değeri 1396,5 değerini alarak, ölçüm cihazı kabul edilebilir risk grubu içerisine girecek şekilde güncellenmiş olunur. Bu sayede ilgili ölçüm cihazının, çalışma koşullarından kaynaklı taşıdığı yüksek risk değeri ve yıpranma, kalibrasyon periyodu sıklaştırılarak tamponlanmış olunarak işyerinde ölçüm cihazının yanlış çalışmasından kaynaklı ortaya çıkabilecek olumsuzlukların olasılığı azaltılmış olunur.

Bu çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

5. Karar Destek Sistemi Tasarımı

5.1. Genel Tasarım Özellikleri

Oluşturulmuş olan bu risk analizi modelinin sıkı bir disiplin içerisinde uygulanabilmesini kolaylaştırabilmek, kullanıcıların arasındaki bilgi iletişimini hızlandırabilmek ve kolay kılmak adına Microsoft Excel programı yardımıyla bir karar destek sistemi tasarlanmıştır. Karar destek sistemi tasarlanırken Endüstri 4.0'ın altında bulunan Nesnelere İnterneti (Internet of Things) yaklaşımından yararlanılarak işletmedeki bölüm ve süreçlerden alınan verilerin ortak çözümlenmesi ve oluşturulacak veri tabanı sayesinde bilgiye kolay ulaşım hedeflenmiştir. Bunun yanı sıra, bu tasarımla toplam verimli bakım yaklaşımında olduğu gibi tüm iletişim ağının sistemde görev alması ve katkıda bulunması sayesinde verimlilik artışı gerçekleştirilecektir. Ayrıca, oluşturulacak olan karar destek sistemi ile Çöp İçeri, Çöp Dışarı (Garbage In, Garbage Out) ve Poka-Yoke yaklaşımları kullanılarak veri tabanına yanlış veri girişinin kod dizinleri ile engellenerek zengin ve doğru bir veri tabanı yaratmak, kontrol ve kalibrasyon işlemlerinde bilgiye erişime uygulama ile otomasyon kazandırarak aksiyon alma süresinde iyileştirme yapmak hedeflenmiştir.

Ayrıca, bu çalışmamızda karar destek sistemi tasarlanırken literatürde gerçekleştirilmiş olan bakım çalışmalarından elde edilen tecrübelerden yararlanılmıştır. Örnek olarak Li ve diğ. (2009)'nin çalışmalarında geliştirdiği *tesis düzeyinde bakım karar destek sistemi* yaklaşımının amaçları arasında bulunan (1) makinelerin kalan kullanım ömrünü tahmin ederek planlanmamış aksaklık süresinin azaltılması ve (2) kritik makineleri tanımlayarak bakım ve üretim kaynaklarının verimli kullanımı, bu çalışmamızda KDS tasarımını oluştururken temel oluşturmuştur. Benzer şekilde Ni ve Jin (2012)'in çalışmalarında açıkladıkları etkili bakım operasyonları için geliştirilen karar destek araçlarının özellikleri olan: (1) bakım fırsat pencerelerinin tahmini, (2) bakım görevlerinin önceliklendirilmesi, (3) ortak üretim ve bakım planlama sistemleri ve (4) bakım personeli yönetimi gibi özellikler bu çalışmamızda tasarladığımız karar destek sistemine entegre edilmiştir. Ayrıca Rasoyska ve diğ. (2005)'nin bakım stratejisini en iyilemek, bakım performansını ve güvenilirliğini artırmak ve bakım müdahalesi için önerdiği karar destek sistemi mantığı, bu çalışmamızda ölçüm aletleri bakımı ve kalibrasyonu stratejisini optimize etmek ve ölçüm aletlerinin performansını ve güvenilirliğini artırmak olarak özelleştirilmiştir.

Yine, çalışmamızda endüstrideki ihtiyaçları vurgulamak ve ölçüm sistemi kalibrasyonu ve bakımı

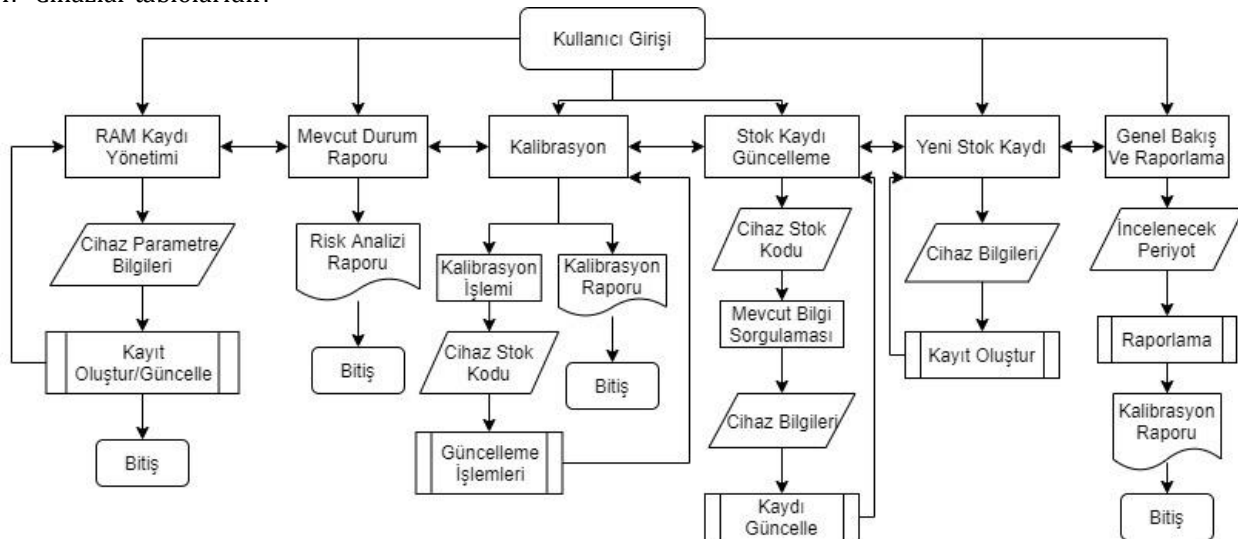
sürecinde mevcut olan eksiklikleri giderebilmek için geliştirdiğimiz KDS, Labib (2004)'in önerdiği ve mevcut *bilgisayarlı bakım yönetim sistemlerinde* genellikle eksik olan bir karar analizi yeteneği oluşturan modelle ve Fernandez ve diğ. (2003)'nin geliştirdikleri ve bakım faaliyetlerinin verimliliğini artırarak bakım planlamacılarına karar analizi ve desteği için platform sağlayan bilgisayar programına benzer amaçlara hizmet etmektedir. Ek olarak, bu çalışmamızda, bir boru hattı teftişi için harcanan zamanı azaltan riske dayalı bir karar destek sistemi sunan Dey (2004)'ün çalışmasına benzer şekilde, risk tabanlı bir karar destek sistemi oluşturulmuştur.

Bu çalışmada tasarlanmış olan karar destek sisteminde kullanılmak üzere bir veri tabanı oluşturabilmek için üretim alanında faaliyet gösteren bir firma ile görüşmeler yapılmış ve işletmelerinde kullandıkları 32 adet ölçüm cihazı ismi alınmıştır. Bu 32 cihazın her birinden 3'er adet olduğu varsayılarak 96 adet deneysel amaçlı ölçüm cihazı verisi oluşturulmuştur. Karar destek sistemi tasarımı oluşturuldukça oluşturulan bu ölçüm cihazları için risk analizi kontrol amaçlı olarak gerçekleştirilmiştir. Uygulamada kullanılmış olan bu veriler, Microsoft Access tabanlı veri tabanında depolanmakta olup, uygulamanın üzerinden dinamik bir şekilde incelenip değiştirilebilmektedir. Excel ve Access arasındaki aktif bağlantılar Excel VBA makrolar yardımıyla sağlanmaktadır. Verilerin depolandığı Access dosyasında 4 adet tablo bulunmaktadır. Bu tablolar,

1. Aksiyon
2. Personel
3. Risk Analizi ve
4. Cihazlar tablolarıdır.

Aksiyon tablosu uygulamanın aksiyon kontrol sekmesi için tasarlanmıştır. Sicil, aksiyon ve zaman olarak 3 sütundan oluşmaktadır. *Personel tablosu* başta uygulamaya erişim olmak üzere uygulamanın çoğu yerinde kullanıcıya ait bilgilere erişim için tasarlanmış olan tablodur. Ad, soyad, e-posta, sabit telefon, cep telefonu, sicil, şifre, birim olmak üzere 8 sütundan oluşmaktadır. *Risk Değeri Tablosu* cihazlara ait risk parametrelerinin ve risk değerinin bilgilerini içeren tablodur. Stok kodu, kullanım sıklığı, fark edilebilirlik, fonksiyonel etki, güvenlik etkisi, üretime katkısı, risk değeri, birimi (cihazın maliyet merkezi birimi) olmak üzere 8 sütundan oluşmaktadır. *Cihazlar tablosu* ise ölçüm cihazlarına ait genel bilgilerin bulunduğu tablodur. Cihaz tanımı, stok kodu, kalibrasyon periyodu, cihazın en son kalibre edildiği tarih, cihazın bir sonraki kalibrasyon işleminin tarihi, cihazın maliyet merkezi birimi, yetkili sicil (cihaz zimmetli ise zimmetli olduğu kişinin sicili) olmak üzere 7 sütundan oluşmaktadır.

Oluşturulan karar destek sistemi Microsoft Excel VBA ve Microsoft Access senkronizasyonu ile çalışmaktadır. Microsoft Excel üzerindeki geliştirici sekmesi yardımı ile oluşturulmuş olan Kullanıcı Formu (Userform) ve araçlar yardımı ile tasarlanan uygulama kodları Excel VBA sözdizimlerin (syntax) yardımı ile yapılandırılmıştır. Uygulama *ana form*, *giriş formu*, *stok güncelleme formu* ve *yeni stok kaydı formu* olmak üzere 4 adet Kullanıcı Formundan oluşmaktadır. Kodlamalar çoğunlukla 5 adet modülde bulunmakta ve gerektiğinde çağrılarak çalıştırılmaktadır. Oluşturulan karar destek sistemi için genel akış diyagramı Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Karar Destek Sistemi İçin Genel Akış Diyagramı

Uygulama ilk çalıştırıldığında, Excel uygulaması kendini görünmez kılıp kullanıcının karşısına sadece Şekil 2'de verilen *Giriş kullanıcı formunu* getirir. Giriş formunun

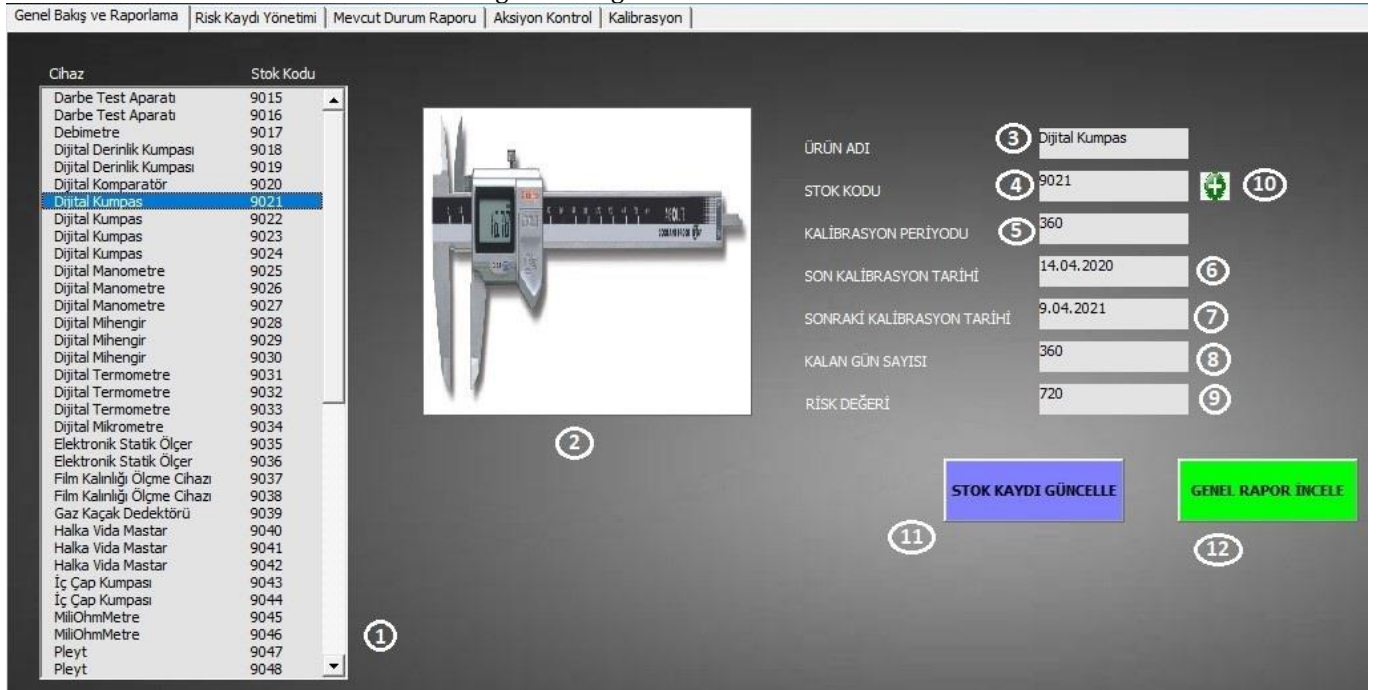
amacı, izinsiz girişleri engellemek, verileri korumak ve uygulama kullanıcısının sicil ve şifresini kullanarak uygulamaya erişmesini sağlamak, uygulamayı

kullanırken sahip olduğu yetkileri belirlemektir. Erişim sağlayabilmek için kullanıcı ilgili *Yazı girişi kutucuğu* (Textbox) eklentilerini kullanarak sicil ve şifresini girip, giriş yapma butonuna bastığında modüllerde bulunan kodlar çalışarak giriş formunda belirtilen sicil ve şifreyi veri tabanındaki personel tablosu bilgilerinde sorgulamaktadır. Sorgulama işleminin sonucunda başarılı giriş olduğunda, uygulamanın yönetileceği ana formdaki erişim yetkileri, giriş yapan kişiye ait bilgiler veri tabanından alınarak ana form yapılandırılmaktadır ve giriş formu gizlenip ana form görünür hal alarak uygulamaya giriş yapılmış olunur.



Şekil 2. Programın Giriş Ekranı

Kullanıcının girdiği sicil ve şifre veri tabanındaki sicil ve şifreler ile uyuşmadığı durumda algoritma, kullanıcıya yanlış şifre veya sicil girdiği hakkında "*Mesaj Kutusu*" (Msgbox) yöntemi ile uyarı verir. Ana form yüklenmesi başarılı olduğunda kullanıcı siciline verilen yetkiye göre ana formun üzerindeki sekmelerin görünürlüğü



Şekil 3. Ana Form'un Genel Bakış ve Raporlama (GBVR) Sekmesi

belirlenir ve veri tabanından alınan bilgilerle, sekmelerde bulunan bilgi alanları doldurulur.

Ana form ise uygulamanın dinamik bir şekilde kullanılmasını sağlayan çoklu amaca hizmet eden, adından da anlaşılacağı gibi uygulamanın ana ara yüzüdür. Şekil 3'te görüldüğü gibi Excel VBA cisimlerinden "*çoklu sayfa sekmesi*" (Multipage) kullanılarak 5 alt sekmede yönetilebilmektedir. Bu alt sekmeler,

1. Genel Bakış ve Raporlama
 2. Risk Kaydı Yönetimi
 3. Mevcut Durum Raporu
 4. Aksiyon Kontrol
 5. Kalibrasyon sekmesi
- olarak 5'e ayrılmaktadır.

Bu sekmelerin detayları aşağıdaki bölümlerde anlatılmıştır.

5.2. Genel Bakış ve Raporlama (GBVR) Sekmesi

Genel bakış ve raporlama sekmesi kullanıcının veri tabanında bulunan cihazlara ait bilgileri görebildiği, stok kaydı güncelleme ekranına ve yeni stok kaydı penceresine ulaşabildiği, istediği belirli gün sayısı içerisinde kalibrasyon işlemi yapılması gereken cihazların listesini rapor olarak ayrı bir Excel dosyası şeklinde çıktı olarak alabildiği bir penceredir. Kullanıcı bilgilerini görmek istediği cihaz/bileşenleri Excel VBA cisimlerinden Şekil 3' te "1" numara ile gösterilen "*Liste kutucuğu*" (Listbox) üzerinden seçerek, veri tabanından getirebilmektedir.

Kod dizini tıklanma ile tetiklendiğinde algoritma, listede seçili birime ait 2. sütunda bulunan stok kodu bilgisini bir değişkene atar ve bu değişkeni arka planda çalıştırdığı uygulamanın veri tabanında bulunan cihazlar tablosundaki stok kodları ile eşleştirmeye çalışır. Aynı stok kodunu bulduğunda bu stok koduna ait bilgileri onlarla ilişkilendirilmiş olunan, Şekil 3'te 3, 4, 5, 6, 7 ve 8 numaraları ile gösterilen "yazı alanlarına" (Label) yerleştirir. Ardından stok kodu bilgisi atanmış olunan değişkeni veri tabanındaki risk değeri tablosunda arayarak, eşleşme başarı olduğunda Şekil 3'te 9 numara ile gösterilen alana bu cihaza ait risk değeri bilgisi yerleştirilir, eşleşme bulunamaz ise 9 numaralı alan boş bırakılır.

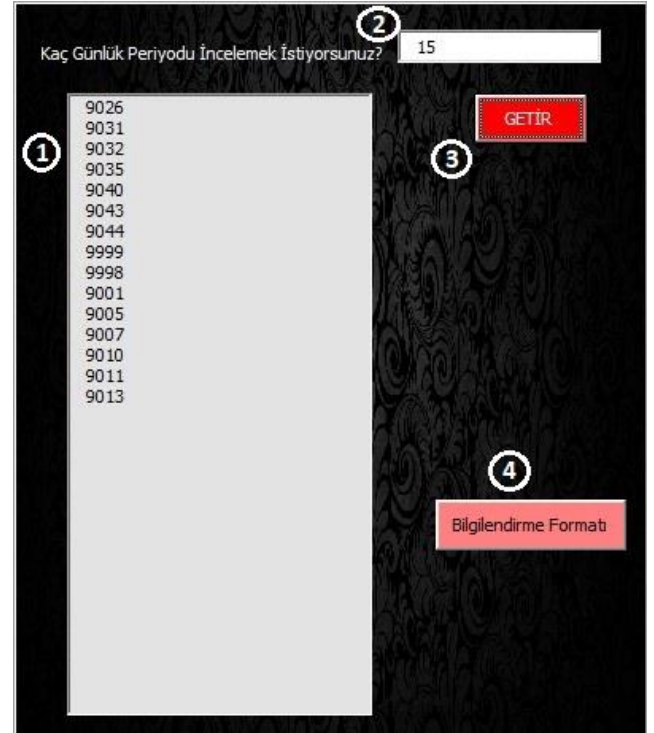
Algoritmanın devamında ise stok kodunun atanmış olduğu değişken yardımıyla, kod dizinlerinde belirtilen adreste bu cihaza ait ".jpeg" uzantılı resim aranır, eğer bu stok koduna sahip cihaza ait resim bulunursa, resim Şekil 3'te 2 numara ile gösterilen "Image" nesnesine yerleştirilir ve biçimlendirilmesi yapılır. Eğer cihaza ait resim bulunamazsa, "Image" nesnesine "Resim Atanmamış" şeklinde ifadeye sahip bir resim yerleştirilir. Böylece kullanıcı sadece tek tıklama ile seçmiş olduğu cihaza ait veri tabanında bulunan bilgileri kolaylıkla görebilmektedir.

Eğer kullanıcı Şekil 3'te 1 numara ile gösterilen "Liste kutusu" üzerinde aradığı ölçüm cihazını bulamaz ise, isteğe bağlı olarak 10 numara ile gösterilmiş, üzerinde artı sembolü bulunan "Image" nesnesine tıklayarak, yeni stok kaydı penceresine ulaşabilir ve veri tabanına cihaz kaydı yapabilir. Image nesnesine tıkladığında arka planda saklanmış kabul edilen "Yeni stok kaydı" isimli kullanıcı formu kullanıcının karşısına getirilir. Kullanıcı istediği cihaza ait bilgilerde değişiklik yapmak istediğinde, Şekil 3'te 11 numara ile gösterilen "Emir butonu" (Commandbutton)'na basarak stok kaydı güncelleme ekranına ulaşabilir. Buton üzerine tıkladığında arka planda saklı olarak tanımlanan "Stok kaydı güncelleme" isimli kullanıcı formu kullanıcının karşısına getirilir.

Kullanıcı belirli gün sayısı içerisinde kalibrasyon işlemi yapılması gereken cihazlara ait bilgileri rapor şeklinde bir Excel dosyası olarak çıktı almak istediğinde, Şekil 3'te 12 numara ile gösterilen "Emir butonu" nesnesine tıklamalıdır. Buton üzerine tıkladığında, ana formun ilk halinde görünmez olan "Çerçeve" (Frame) alan nesnesi görünür hal alır.

"Çerçeve" alanı görünür hal aldıktan sonra Şekil 4'te 2 numara ile gösterilen "Yazı kutucuğu" giriş alanına kullanıcı, incelemek istediği periyodu gün cinsinden giriş yapar. Ardından 3 numara ile gösterilen "GETİR" butonuna tıkladığında algoritma uygulamanın çalıştığı andaki tarihten itibaren, kalibrasyon işlemine seçili gün sayısı kalan tüm cihazlara ait stok kodu bilgisini Şekil 4'te 1 numara ile gösterilen liste kutucuğuna yerleştirir. Ardından kullanıcının 4 numara ile gösterilen

"Bilgilendirme Formatı" isimli butona tıklaması üzerine, listede bulunan her bir stok kodu veri tabanının cihazlar tablosunda aranır ve eşleşme olan her bir stok kodu için, arka planda Excel dosyasına cihaza ait bilgiler yerleştirilir. Listedeki bulunan cihazlara ait bilgiler yerleştirildikten sonra Excel dosyası kod dizininde tanımlanmış olunan adrese, isimlendirilerek ayrı bir dosya şeklinde kaydedilir.



Şekil 4. Genel Bakış ve Raporlama (GBVR) Sekmesindeki Çerçeve Alanı

5.3. Risk Kaydı Yönetimi Sekmesi

"Risk kaydı yönetimi" sekmesi, kullanıcının daha önceden risk analizi bilgileri girilmiş cihaza ait olan bilgileri değiştirip güncelleyebildiği veya henüz risk analizi bilgileri girilmemiş olan ölçüm cihazına ait bilgileri girip, veri tabanına ekleyebildiği bir penceredir. Sekmenin amacı, direk olarak cihazın kullanıcısının, cihaza ait kullanım sıklığı, risk etmenleri gibi bilgileri veri tabanına eklemesini sağlamaktır. Kullanıcıların risk değerini oluşturan parametreleri kolaylıkla anlayıp bilgi girişini sağlayabilmesi için açıklamalar içeren 4 adet yazı kutucuğu bulunmaktadır. Bu yazı kutucukları ana form yüklendiğinde görünmez halde bulunup, ilgili parametrenin değiştirilmesini sağlayan çoklu seçim kutularına tıkladığında her bir parametre için kendisi ile ilgili açıklama kutucuğu görünür olmaktadır. Bu açıklama kutucukları Şekil 5'te 15 numara ile gösterilen üretime katkı parametresi seçilirken görünür hal alan, 16 numara ile gösterilen açıklama içeren yazı alanı nesnelere aittir. Böylece kullanıcı için karışıklık olmayarak bilgi kirliliği önlenmiş olmaktadır.

Mevcut bir kaydı değiştirmek ve güncellemek isteyen kullanıcı, Şekil 5'te 1, 2, 3, 4, 5 ve 15 numaraları ile gösterilen "çoklu seçim kutucuğu" (Combobox) nesnelerini kullanmaktadır. Kullanıcı 1 numaralı alan üzerinden istediği cihaza ait stok kodunu seçtiğinde algoritma, çoklu seçim kutucuğu içerisindeki stok kodu bilgisini bir değişkene atar ve bu değişkeni veri tabanındaki risk değeri tablosunda bulunan stok kodu bilgileri ile eşleştirmeye çalışır. Eşleşme olduğunda ilgili stok koduna ait risk değeri parametrelerinin bilgileri kendileriyle ilişkili diğer çoklu seçim kutucuklarına yerleştirilir. Böylece kullanıcı seçmiş olduğu cihaza ait daha önceden girilmiş olan kayıtlı bilgileri görmekte ve isteğe bağlı olarak değiştirebilmektedir. Şekil 5'te 3, 4, 5, 15 ve yeni kayıt alanındaki eşlenikleri olan 10, 11, 12, 13 numara ile gösterilen alanlar üzerine tıkladığında, 16 numara ile gösterilen "Etiket" yazı alanında kendileriyle ilişkili açıklamalar görünür hal almakta, kullanıcı seçim yaptığı çoklu seçim kutucuğundan farklı bir alana tıkladığında tekrar bu açıklama yazı alanları görünmez hal almaktadır.

Kullanıcı seçtiği stok koduna sahip cihaza ait parametrelerde değişiklik yapıp güncelleme işlemini tamamlamak istediğinde Şekil 5'te 6 numara ile gösterilen "Emir Butonu" nesnesine tıklamalıdır. Buton üzerine tıkladığında, kullanıcıya güncelleme işlemine devam edip etmemek istediğine dair "Mesaj Kutusu" yöntemi ile uyarı ekranı getirilir. Kullanıcı güncelleme işlemine devam etmek istediğine dair geri dönüş yapar ise, kod dizini her bir parametre için a belirlenmiş değerleri hesaplayarak matematiksel model yardımıyla

cihazın risk değerini veri tabanında güncellemektedir. Ayrıca veri tabanındaki bu güncelleme işleminin uygulamanın dinamik yapısını bozmaması adına, uygulamanın Genel bakış ve raporlama sekmesindeki cihazların bilgisinin bulunduğu liste nesnesindeki bilgilerin güncellenmesini sağlayan, ayrıca ana formun mevcut durum raporu sekmesindeki risk değerlerine göre sınıflandırılmış cihazlar listesini değişen risk durumuna göre güncelleyen ek kod dizinleri devreye girer.

Veri tabanı ve uygulamanın güncelleme işlemini tamamladığında, yapılan işlem aksiyonu özetlenmiş şekilde veri tabanındaki aksiyon isimli tabloya kaydedilir. Bu işlemdeki amaç, veri tabanında yapılan değişikliğin geriye dönük bakıldığında incelenmesini kolaylaştırmaktır. Kullanıcı bir cihaza ait yeni kayıt yapmak istediğinde Şekil 5'te 7, 9, 10, 11, 12 ve 13 numaraları ile gösterilen alanlar yardımıyla cihaza ait parametre bilgilerini girebilmektedir. Kayıt yapmak istediği cihaz 7 numaralı alanda yok ise, kullanıcı 8 numaralı Image nesnesine tıklayarak yeni stok kaydı penceresine geçiş yapabilmektedir. Kullanıcı kayıt işlemini tamamlamak için 14 numara ile gösterilen butona bastığında, karşısına devam edip etmek istemediğine dair onay isteyen bir uyarı penceresi çıkmaktadır. Kullanıcı onay verirse arka planda veri tabanı açılarak cihaza ait risk parametre değerleri kaydolmakta, risk değeri hesaplanmakta ve risk değerleri ile ilişkili uygulama alanları güncellenmektedir.

Genel Bakış ve Raporlama | Risk Kaydı Yönetimi | Mevcut Durum Raporu | Aksiyon Kontrol | Kalibrasyon

MEVCUT KAYIT GÜNCELLE

STOK KODU: 9008 (1)

KULLANIM SIKLIĞI: günde birkaç (2)

FARK EDİLEBİLDİĞİ BİRİM: işleme sırasında fark edilen (3)

FONKSİYONEL HATA ETKİSİ: önemli (4)

GÜVENLİK HATA ETKİSİ: önemsiz (5)

ÜRETİME KATKISI: önemli (15)

GÜNCELLE (6)

YENİ KAYIT GİRİŞİ

STOK KODU: 9019 (7)

KULLANIM SIKLIĞI: (8)

FARK EDİLEBİLDİĞİ BİRİM: (9)

FONKSİYONEL HATA ETKİSİ: (10)

GÜVENLİK HATA ETKİSİ: (11)

ÜRETİME KATKISI: (12)

KAYDET (14)

Üretim Katkı Parametresi:
Cihazın yanlış kalibrasyon ile çalışmaya devam etmesi durumunda;
Az Önemli- Üretim aksamadan ve yıpranmadan devam ediyorsa seçilmelidir.
Önemli- Üretimde yeniden işleme ihtiyacı doğuyorsa seçilmelidir.
Çok Önemli - Üretim DURUYORSA seçilmelidir.

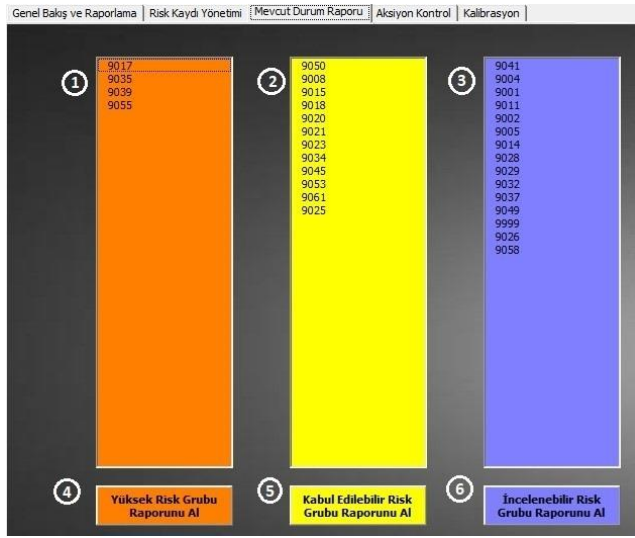
Şekil 5. Ana Formun Risk Kaydı Yönetimi Sekmesi

5.4. Mevcut Durum Raporu Sekmesi

"Mevcut durum raporu" sekmesi, kullanıcının risk değerleri hesaplanmış cihazlara ait stok kodlarını, daha önceden belirlenmiş risk değeri sınıfları içerisinde kolaylıkla görebildiği ve her risk grubu için cihazlara ait risk bilgilerini içeren birer rapor alabilmesini sağlayan sekmedir. Sırasıyla "yüksek risk grubu", "kabul edilebilir

risk grubu" ve "incelenebilir risk grubu"nda bulunan cihazlara ait stok kodu bilgisi, Şekil 6'da 1, 2 ve 3 numara ile gösterilen "Liste kutusu" nesnelerinde kullanıcıya sunulmaktadır. Algoritma ana form yüklendiğinde veri tabanındaki Risk Değeri Tablosundan risk değerleri bilgilerini alarak her cihazı ait olduğu risk grubuna göre liste kutucuklarına yerleştirmektedir. Ayrıca Risk kaydı yönetimi sekmesinde veri tabanında yapılan

değişiklikler bu 3 tablonun güncellenmesini tetiklemektedir.



Şekil 6. Ana Formun Mevcut Durum Raporu Sekmesi

Kullanıcı bu risk gruplarında bulunan cihazlara ait detaylı bir rapor almak istediğinde, Şekil 6'da 4, 5 ve 6 numaraları ile gösterilen butonlara basmalıdır. Bu üç butondan herhangi birine basıldığında, arka planda uygulamayla ilişkili olan veri tabanı çalıştırılır, basılmış olunan buton hangi risk grubuna ait ise o risk grubunun bulunduğu listedeki cihazların stok kodu bilgileri, veri tabanındaki "Risk Değeri Tablosu" ve "cihazlar" tablolarındaki stok kodları ile eşleştirilir. Eşleşen stok koduna ait cihaz ve risk parametre bilgileri arka plandaki Excel uygulamasına aktarılarak biçimlendirme yapılır ve rapor, biçimlendirilmesi tamamlandığında kod dizininde tanımlanmış klasör adresine kaydedilir.

Kullanıcı uygulama üzerinden aldığı raporları göndereceği personele ait bilgilere ulaşmak istediğinde veya aksiyon kontrol sekmesinde yapılmış olan bir işlem hakkında, işlemi yapan personel ile iletişim kurmak istediğinde, Şekil 7'de 12 numara ile gösterilen alana iletişim bilgilerine ulaşmak istediği kişinin sicil bilgisini girerek 13 numaralı alandaki butona basmalıdır. "İletişim Bilgisi Sorgula" isimli butona basıldığında Şekil 7'de 12 numaralı yazı kutucuğu alanına girilmiş olunan sicil kodu bir değişkene atanır ve bu değişken veri tabanında, personel tablosundaki diğer sicil kodları ile eşleştirilir. Eşleşme başarılı olduğunda bu sicil koduna ait bilgiler Şekil 7'de 7, 8, 9, 10 ve 11 numaraları ile gösterilen "Etiket" yazı alanlarına yerleştirilir. Bu sayede iletişim kolaylığı ve zamandan tasarruf sağlanmıştır.



Şekil 7. Ana Formun Mevcut Durum Raporu Sekmesindeki İletişim Alanı

5.5. Aksiyon Kontrol Sekmesi

Uygulamanın "aksiyon kontrol" sekmesi, uygulamada geriye dönük yapılan işlemlerin yer aldığı liste kutucuğunu içeren bir sekmedir. Hatalı bir işlem yapıldığında, işlemi gerçekleştiren kişi ile kolay iletişime geçilip yedeklenmiş olan veri tabanından yararlanılarak bu hatalı işlem düzeltilebilir.

Ana forum ilk yüklendiğinde kod dizinleri, veri tabanındaki aksiyon tablosunda bulunan bilgileri Şekil 8'de 1 numara ile gösterilen liste alanına yerleştirmektedir. Aynı şekilde, uygulama içerisinde veri tabanında değişiklik yaratan işlemler yapıldığında bu aksiyonlar özet bilgi içerecek şekilde veri tabanına kaydedilmekte ve 1 numaralı liste tablosu dinamik kalması için güncellenmektedir. Kullanıcı Şekil 8'de 1 numara ile gösterilen liste üzerinden herhangi bir aksiyon üzerine tıkladığında, seçili aksiyonu gerçekleştiren personele ait sicil bilgisi bir değişkene atanır ve ardından bu değişken veri tabanındaki personel tablosundaki sicil kodları ile eşleştirilir. Eşleşme olduğunda bu sicile ait bilgiler Şekil 8'de 2, 3, 4, 5 ve 6 numaraları ile gösterilen "Etiket" yazı alanlarına yerleştirilir. Böylece kullanıcı geçmişte yapılmış aksiyonları inceleyebilmekte ve aksiyonu alan kişi ile iletişime geçebilmek için bilgilere kolayca ulaşabilmektedir.

5.6. Kalibrasyon Sekmesi

5.6.1. Ölçüm Cihazları İçin Kalibrasyon Raporları Oluşturma

Uygulamanın son sekmesi olan "Kalibrasyon sekmesi", kullanıcının kalibrasyon tarihi geçmiş, 10 gün içerisinde kalibre edilecek ve 2 ay içerisinde kalibre edilmesi gereken cihazlara ait bilgiler içeren üç ayrı rapor alabilmesini ve kalibrasyon işlemini gerçekleştirdiği cihazı veri tabanında güncelleyebilmesini sağlayan penceredir. Uygulama açıldığında kod dizinleri, ana form yüklenmeden önce, açıldığı tarih ve zaman bilgisini

olarak bir değişkene atar. Ardından veri tabanındaki cihazlar tablosundaki her bir ölçüm cihazı için sonraki kalibrasyon tarihine kalan süreyi hesaplayarak, bu süreye göre cihazları Şekil 9'da 1, 2 ve 3 numaraları ile gösterilen liste kutucuğu nesnelere yerleştirir. Kullanıcı, bu liste gruplarına ait rapor almak istediğinde yine Şekil 9'da 4, 5 ve 6 numaraları ile gösterilen butonlara basmalıdır. Buton üzerine basıldığında, onunla ilişkilendirilmiş olan liste grubunda bulunan,

cihazların stok kodu bilgileri tek tek veri tabanındaki cihazlar tablosundaki stok kodları ile eşleştirilir. Eşleşen stok kodları için cihaza ait bilgiler alınıp arka planda Excel dosyasına yerleştirilir. Rapor niteliği taşıyan bu Excel dosyası biçimlendirilir ve ardından kod dizinlerinde tanımlanmış olunan klasör adresine, isimlendirilerek ayrı bir dosya şeklinde kaydedilir.

SİCİL	TARİH	AKSİYON
ilhan01	22.03.2020	9012 stok kaydına ait bilgiler güncellendi.
betül01	24.03.2020	9998 stok kodu ile yeni bir kayıt yapıldı.
yusuf01	26.03.2020	9053 stok kaydına ait bilgiler güncellendi.
yusuf01	14.04.2020	9021 stok kodlu cihaz kalibre edildi.

AD SOYAD	YUSUF BOCU	MAİL	yusuf@yusuf.com	CEP TEL	9999999
BİRİM	Kalite	SABİT TEL	1111111		

Şekil 8. Ana Formun Aksiyon Kontrol Sekmesi

Kalibrasyon Tarihi Geçmiş	10 Gün İçerisinde Kalibre Edilmeli	2 Ay İçerisinde Kalibre Edilecekler
9001 9005 9007 9010 9011 9013 9032 9044 9999 9998	9001 9005 9007 9010 9011 9013 9026 9032 9043 9044 9999 9998	9001 9005 9007 9009 9010 9011 9013 9026 9027 9028 9029 9030 9031 9032 9037 9038 9043 9044 9045 9051 9052 9058 9059 9060 1005 1006 1010 1015 1017 9999 9998

Stok Kodu	9032	Kalibrasyon Yapıldı
-----------	------	---------------------

Şekil 9. Ana Formun Kalibrasyon Sekmesi

Kullanıcı, bir ölçüm cihazının kalibrasyon işlemi tamamlandığında bu cihaza ait kalibrasyon tarihi bilgilerini güncellemek ister ise, Şekil 9'da 7 numara ile gösterilen "Yazı kutucuğu" yazı giriş alanına, cihaza ait

stok kodu bilgisini girmelidir. Ardından kullanıcı Şekil 9'da 8 numara ile gösterilen buton üzerine tıkladığında, öncelikle kullanıcıya "Mesaj kutusu" metodu ile, işleme devam etmek isteyip istemediğine dair uyarı penceresi

sunulur. Kullanıcı bu pencereden devam etmek istediğini belirtir ise kod dizinleri bu stok kodunu veri tabanındaki *cihazlar* isimli tabloda arar. Girilen stok kodu cihazlar tablosunda yok ise, kullanıcıya yine "Mesaj kutusu" metodu yardımıyla, işlem yapmak istediği cihaz stok koduna dair bilgi bulunamadığı bilgisi uyarı şeklinde iletilir. Eğer eşleşme başarılı olursa, kod dizinleri kullanıcının girdiği cihaza ait son kalibrasyon tarih bilgisini, butona basıldığı andaki tarih bilgisi ile değiştirir. Ardından güncellenmiş olan son kalibrasyon tarih bilgisi üzerine veri tabanındaki kalibrasyon periyodunu ekleyerek, sonraki kalibrasyon işlemi tarihi bilgisini günceller.

Bu işlemler sonuçlandığında kullanıcıya kalibrasyon işleminin başarıyla tamamlandığına dair "Mesaj kutusu" metodu ile bilgilendirici bir pencere sunulur ve kalibrasyon süreleri ile ilişkili olan Şekil 9'da 1, 2 ve 3 numaraları ile gösterilen liste alanlarını güncelleyen kod bloğu tekrar çalıştırılarak uygulamanın dinamikliğinin korunması sağlanır. Ayrıca veri tabanında her değişiklik yapan işlem sonrası veri tabanı yedeklenerek önceki bilgiler korunmaktadır ve veri tabanındaki bu değişiklik adına, veri tabanındaki aksiyon tablosuna aksiyon işleminin özet bilgisini, işlemi yapan kişinin sicilini ve işlemin yapıldığı zaman bilgisini içeren yeni bir kayıt açılarak, uygulamadaki aksiyon kontrol sekmesindeki bilgilendirici liste güncellenir.

YENİ STOK KAYDI

Şekil 10. Yeni Stok Kaydı Formu

Ardından, arka planda veri tabanı açılarak, cihazlar tablosuna yeni bir kayıt açılır. Girilmiş olan bilgiler veri tabanına kaydedilir ve kullanıcıya kayıt işleminin başarılı olduğuna dair bir bilgilendirme penceresi

5.6.2. Yeni Stok Kaydı Kullanıcı Formu

Yeni stok kaydı kullanıcı formu, veri tabanında bulunmayan cihazların, veri tabanına kaydının yapılabilmesini sağlayan uygulama penceresidir. Kullanıcı Şekil 10'da 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8 ve 9 numaraları ile gösterilen "Yazı kutucuğu" yazı giriş alanlarına kaydı yapmak istediği cihaza ait bilgileri girmektedir. Kullanıcı eğer yazı giriş alanlarındaki verilerin tümünü silmek ister ise Şekil 10'da 10 numara ile gösterilen butona basmalıdır. "Temizle" isimli butona basıldığında kod dizini, kullanıcının karşısına, "Mesaj kutusu" metodu ile verilerin silineceğine dair bir uyarı penceresi çıkarır ve işleme devam etmek isteyip istemediğini sorar. Kullanıcı devam etmek istediğine dair geri dönüş yapar ise yeni stok kaydı formunda bulunan tüm yazı giriş alanlarının içerisindeki veriler silinir.

Kullanıcı eğer girmiş olduğu verileri veri tabanına kaydetmek istiyor ise Şekil 10'da 11 numara ile gösterilen "Kaydet" butonuna basmalıdır. Butona basıldığında, diğer işlemlerde olduğu gibi kullanıcı onayı istenir. Eğer kullanıcı devam etmek istediğine dair geri dönüş yapar ise kod dizini, Şekil 10'da, 4 numara ile gösterilen son kalibrasyon tarihi bilgisi üzerine, 3 numara ile gösterilen kalibrasyon periyodu bilgisini ekleyerek, 5 numara ile gösterilen sonraki kalibrasyon tarihi bilgisini hesaplar. Buradaki amaç kullanıcının sonraki kalibrasyon tarihini hesaplamakla uğraşmasını engellemek ve yanlış bilgi girişinin önüne geçmektir. sunulur. Ayrıca veri tabanındaki bu değişikliğin uygulamanın diğer alanlarında bulunan bilgi tablolarına işlemesi için bu bilgi tablolarını tekrar güncelleyen kod blokları tekrar çalıştırılır ve uygulamanın dinamikliği korunmuş olur.

Son olarak, yapılan işlem özet bilgi içerecek şekilde, veri tabanındaki aksiyon kontrol tablosuna, işlemin yapıldığı zaman, işlemi yapan kişinin sicili ve aksiyonun özeti olarak kaydedilir ve uygulamanın aksiyon kontrol sekmesindeki bilgilendirici tablo güncellenir.

5.6.3. Stok Kaydı Güncelleme Ekranı

Stok kaydı güncelleme kullanıcı formu, kalibrasyon periyodunun değişmesi gibi cihaza ait bilgilerde bir değişiklik olduğunda bu değişikliğin veri tabanında ve dolayısıyla uygulamada dinamik olması için, bilgilerin güncellenebilmesini sağlayan uygulama ekranıdır.

Kullanıcı dilediği cihaza ait mevcut bilgileri görmek istediğinde, cihaza ait stok kodu bilgisini Şekil 11'de 1 numara ile gösterilen alana girerek 2 numara ile gösterilen "Bilgi getir" butonuna basmalıdır. Butona basıldığında, stok kodu bilgisi veri tabanındaki cihazlar tablosunda aranır ve eşleşme olduğunda 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 ve 10 numaralı yazı giriş alanlarına yerleştirilir.

STOK KAYDI GÜNCELLEME EKRANI

Şekil 11. Stok Kaydı Güncelleme Formu

Kullanıcı isterse Şekil 11'de 11 numara ile gösterilen "Temizle" butonuna basarak verileri silebilir. "Temizle" butonu üzerine tıklandığında kullanıcıya verilerin kaybolacağı bilgisi verilerek, işleme devam etmek isteyip istemediğine dair "Mesaj kutusu" metodu yardımıyla bir pencere sunulur. Kullanıcı temizleme işlemine devam etmek istediğine dair bir geri dönüş yaptığında Şekil 11'de bulunan tüm yazı giriş alanları temizlenir. Kullanıcı bilgilerini getirdiği cihaza ait verilerde değişiklik yapıp ardından kaydetmek istediğinde Şekil 11'de 12 numara ile gösterilen Yazı kutucuğu butonuna basmalıdır.

"Kaydet" butonuna tıklandığında, kullanıcıya diğer işlemlerde olduğu gibi işleme devam etmek isteyip istemediğini soran "Mesaj kutusu" metodu ile tasarlanmış bir pencere sunulur ve eğer kullanıcı devam etmek istediğine dair geri dönüş yapar ise, Şekil 11'de 5 numara ile gösterilen son kalibrasyon tarihi bilgisi üzerine, 4 numara ile gösterilen kalibrasyon periyodu bilgisi eklenerek, 6 numara ile gösterilen sonraki kalibrasyon tarihi bilgisi elde edilir. Buradaki amaç yeni stok kaydı forumunda olduğu gibi kullanıcının sonraki kalibrasyon tarihini hesaplamakla uğraşmasını engellemek ve yanlış bilgi girişinin önüne geçmektir.

Ardından bilgilerin ait olduğu cihazın stok kodu, veri tabanındaki *cihazlar* tablosunda aranır ve eşleşme olduğunda bu cihaza ait bilgiler, stok kaydı güncelleme formunda girilmiş olan bilgiler ile değiştirilir. Veri tabanındaki bu değişimin geriye dönük olarak incelenebilmesi için aksiyon, işleme ait özet bilgi, işlemi yapan personelin sicili ve işlemin yapıldığı tarih bilgisini

içerecek şekilde veri tabanındaki aksiyon tablosuna kaydedilir.

Son olarak uygulamanın dinamikliğini korumak için cihaza ait bilgileri içeren uygulamanın ana formunda bulunan "Liste kutusu" liste alanları ve aksiyon kontrol sekmesindeki aksiyonlara ait bilgi içeren liste alanı güncellenir. Kullanıcıya yapmış olduğu kayıt işleminin başarılı olduğuna dair "Mesaj kutusu" metodu ile tasarlanmış bilgilendirici bir pencere sunulur.

6. Tartışma ve Sonuçlar

Doğru veri elde edebilmek için işletmelerde farklı ölçümler için kullanılan ölçüm cihazlarının kalibrasyonunun doğru zamanda ve doğru şekilde yapılması büyük bir önem taşımaktadır. Cihazın yanlış ölçümünden kaynaklı ortaya çıkabilecek sorunlar, şirketler açısından istenmeyen durumlar oluşturabilir. Kullanılan ölçüm cihazları kullanım koşulları sebebiyle farklı çalışma karakteristikleri edindikleri için aynı tipteki her ölçüm cihazı için aynı kalibrasyon periyodu uygulanması yeterli bir çözüm olmayabilir. Bu sebeple bu araştırmada, literatürdeki kalibrasyon periyotlarının belirlenmesine yönelik literatür eksikliğinin giderilmesi ve fikir oluşturması amacıyla bir risk analizi modeli tasarlanmış ve uygulamayı kolaylaştırmak için bir karar destek sistemi ile bilgisayar uygulaması niteliği içerisinde desteklenmiştir. Veri tabanı için 96 deneysel ölçüm cihazı tasarlanmış, 39 deneysel ölçüm cihazı için risk analizi uygulanmıştır. Uygulama yüksek derece eğitim gerektirmeksizin herkesin kolaylıkla kullanabilmesi yönünde yapılandırılmıştır. Poka-Yoke yaklaşımı ile veri tabanı, kullanıcının istese de yanlış bilgi girişi yapamayacağı şekilde koruma altına alınmış, ve uygulamaya erişim kullanıcı sicilleri üzerinden yetkilendirilip güvence altına alınmıştır. Uygulama sayesinde kullanıcılar bilgiye tek bir platformdan kolaylıkla erişebilmektedir.

Kalibrasyon işlemi tüm çalışanların ve organizasyonun performansını topyekun etkilediği için kalibrasyon programının sorunsuz bir şekilde işlemesi çok önemlidir. Kalibrasyon işlemleri işletme tarafından yapılıyorsa, bu çalışmada geliştirilen karar destek sisteminin başarılı bir şekilde uygulanabilmesi için tüm bölüm yöneticilerine ve çalışanlarına, bu sistem ve kalibrasyon sürecinin nasıl sürekli bir düzen şeklinde işleyeceği ve bu sistemde kendilerine düşen rollerin/görevlerin neler olduğu hakkında detaylı bir bilgilendirme yapılmalı ve eğitim verilmelidir. Elbette operatörler, kullandıkları ölçüm cihazlarının üretimin ortasında bir veya iki gün ellerinden alınıp bakım yapılmasını istemez. Fakat, düzenli kalibrasyonun ardındaki mantığı, önlediği riskleri ve nasıl çalıştığını anladıklarında, çoğu operatör programın başarılı olmasını sağlamada yardımcı ve katılımcı olacaktır. Ayrıca, operatörlere kullandıkları ölçüm cihazlarını kalibre edilmek üzere teslim etmeleri için uygulanabilir

bir zaman aralığı vererek kalibrasyon programıyla işbirliği içinde olmalarını sağlanabilir. Bu çalışmada geliştirilen karar destek sistemi uygulaması ile operatörler, kullandıkları ölçüm cihazı için kalibrasyon tarihlerini görebildikleri ve gelecek kalibrasyon zamanları için ilgili raporların çıktısını alabildikleri için, kullandıkları ölçüm cihazının ne zaman kalibrasyon için teslim edileceğini açık ve net bir şekilde bilecek ve buna göre planlamasını - belki farklı cihaz kullanımı veya o süre zarfında elinde olan farklı cihazlarla farklı işlere yoğunlaşma gibi - rahatlıkla yapabilecektir.

Benzer şekilde bölüm yöneticileri, bu çalışmada geliştirilen karar destek sistemi uygulaması ile, hem ölçüm cihazlarından kaynaklanabilecek ve farklı aşamalarda oluşabilecek potansiyel riskleri ortadan kaldıracabilecek, hem de kalibrasyon sürecini iyi bir şekilde yöneterek üretim, iş gücü, zaman planlamalarını ve çıktı hedeflerini çok daha verimli ve sorunsuz bir şekilde gerçekleştirebilecektir.

Bu sebeplerden dolayı bu çalışma hem akademik hem de pratikte gelecekte gerçekleştirilecek olan uygulama ve araştırmalara yön verecektir. Gelecek çalışmalar, burada teorik olarak sunulan uygulamaya benzer karar destek tasarımlarını farklı endüstri ve alanlarda faaliyet gösteren işletmelerde uygulayabilir ve sonuçlarını sunabilir. Ayrıca farklı işletme gerekliliklerine göre özelleştirilmiş karar destek sistemi tasarımları da gelecek çalışma önerileri arasında sayılabilir. Risk analizi modeli doğrultusunda risk gruplarının yapılandırılması, kullanıcı işletmenin istek ve koşulları göz önünde bulundurularak stratejik bir karar olarak belirlenmelidir. Gelecek araştırmalarda uygulamanın sunduğu hizmetler artırılabilir veya geliştirilebilir, ayrıca ihtiyaç duyulursa risk sınıfları artırılarak çeşitlenebilir.

Ayrıca Turgay (2003)'ün çalışmasında belirtildiği gibi "Kalibrasyon neticesinde Kullanılır/Kullanılmaz/Şartlı Kullanılır gibi bir değerlendirme yapılmaktadır." Buna göre gelecek çalışmalarda, kullanılabilir- şartlı kullanılabilir-kullanılmaz sınıfları incelenecek olunursa cihazın kalibrasyon işleminden ne kadar süre sonra kullanılmaz değerlendirilmesi aldığı takip edilerek, bu süre benzer şekilde tekrar ediyor ise gelecek çalışmalarda parametre olarak dikkate alınabilir.

Benzer şekilde, kalibrasyon periyodunun belirlenmesi için, yapılan son kontrol ile önceki kontrol işlemi karşılaştırılmalıdır. Ölçüm belirsizliği üzerinden kalibrasyon periyodunun belirlenebilmesi için birçok kontrol sonrası veriye ihtiyaç duyulur ki sistematik bir şekilde kalibrasyon eğrisi eğimi ve değişim oranı takip edilebilsin. Üzerine istatistiksel çalışma yapılabilecek kadar veri toplanmış bir ölçüm cihazı için, bu veriler işletmede kalite kontrol / kalibrasyon bünyesinde tutuluyor ise kalibrasyon eğrisi eğimi ve değişim oranı bir sınıflandırılma yapılarak yine gelecek çalışmalarda parametre olarak eklenebilir.

Araştırmacıların Katkısı

Bu araştırmada; Meryem ULUSKAN, bilimsel yazın araştırması, araştırma tasarımı, karar destek sistem tasarımı planlaması ve makalenin oluşturulması; Yusuf BÖCÜ, bilimsel yazın araştırması, araştırma tasarımı, karar destek sistem tasarımı planlaması ve oluşturulması ile makalenin oluşturulması konularında katkı sağlamışlardır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Kaynaklar

- Abdo, H., Kaouk, M., Flaus, J. M., & Masse, F. (2018). A safety/security risk analysis approach of Industrial Control Systems: A cyber bowtie-combining new version of attack tree with bowtie analysis. *Computers & Security*, 72, 175-195. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cose.2017.09.004>
- Ahmed, S., Hassan, M. H., & Taha, Z. (2005). TPM can go beyond maintenance: excerpt from a case implementation. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 11(1), 19-42. doi: <https://doi.org/10.1108/13552510510589352>
- Ahmad, S., & Shahwaz, S. M. (2015). Implementation of total productive maintenance in thermal power station (Barauni refinery). *International Journal of Engineering Research*, 1(3), 7-16. Erişim adresi: https://archive.org/stream/ijoerjun20155/ijoer-jun-2015-5_djvu.txt
- Ahuja, I. P. S., & Khamba, J. S. (2008). Total productive maintenance: literature review and directions. *International Journal Of Quality & Reliability Management*, 25(7), 709-756. doi: <https://doi.org/10.1108/02656710810890890>
- Aydın, F., Çidem, Ç. ve Kahya, E. (2018). Kabin üretimi yapan bir işletmenin kaynak atölyesinde iş sağlığı ve güvenliği risk değerlendirmesi. *Ergonomi*, 1(3), 137-147. Erişim adresi: <http://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/591524>
- Bevel, K. D., Johnson, K. M., & Stonaker, R. N. (2006). *Increasing operational availability of H-60 calibration support equipment*. Naval Postgraduate School Monterey California, USA.
- Bumblauskas, D., Gemmill, D., Igou, A., & Anzengruber, J. (2017). Smart Maintenance Decision Support Systems (SMDSS) based on corporate big data analytics. *Expert Systems With Applications*, 90, 303-317. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2017.08.025>

- Champaigne, J. (2002). Almen gage calibration, *Proceedings of the 8th International Conference on Shot Peening ICSP*, 8, 108-113.
- Chen, X., Xi, J., Jin, Y., & Sun, J. (2009). Accurate calibration for a camera-projector measurement system based on structured light projection. *Optics and Lasers in Engineering*, 47(3-4), 310-319. doi: <https://doi.org/10.1016/j.optlaseng.2007.12.001>
- Chiu, C. H., & Choi, T. M. (2016). Supply chain risk analysis with mean-variance models: A technical review. *Annals of Operations Research*, 240(2), 489-507. doi: <https://doi.org/10.1007/s10479-013-1386-4>
- Cox, H. (2005). Get calibration scheduled right. *Quality*, 44(1), 28. Erişim adresi: <https://search.proquest.com/docview/235244796?pq-origsite=gscholar>
- Çoruh, B. (2008). Basınç, sıcaklık ve nem parametrelili kalibrasyon sistemi. Yüksek Lisans Tezi, Başkent Üniversitesi, Ankara.
- Dababneh, F., Li, L., Shah, R., & Haefke, C. (2018). Demand response-driven production and maintenance decision-making for cost-effective manufacturing. *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 140(6). doi: <https://doi.org/10.1115/1.4039197>
- Damerdj, R. O., & Nouredine, M. (2017). Maintenance Decision-Making Under the Cost Criterion and the Competing Risks Approach. *International Journal of Decision Support System Technology (IJDSST)*, 9(1), 32-48. doi: <http://dx.doi.org/10.4018/IJDSST.2017010103>
- Dey, P. K. (2004). Decision support system for inspection and maintenance: a case study of oil pipelines. *IEEE transactions on engineering management*, 51(1), 47-56. doi: <https://doi.org/10.1109/TEM.2003.822464>
- Fernandez, O., Labib, A. W., Walmsley, R., & Petty, D. J. (2003). A decision support maintenance management system. *International Journal of Quality & Reliability Management*. 20(8), 965-979. doi: <https://doi.org/10.1108/02656710310493652>
- Ferrari, E., Pareschi, A., Regattieri, A., & Persona, A. (2002). TPM: situation and procedure for a soft introduction in Italian factories. *The TQM Magazine*, 14(6), 350-358. doi: <https://doi.org/10.1108/09544780210447456>
- Gandhi, K., & Ng, A. H. (2018). Machine maintenance decision support system: a systematic literature review. In *Manufacturing Technology XXXII: Proceedings of the 16th International Conference on Manufacturing Research, incorporating the 33rd National Conference on Manufacturing Research*, IOS Press, University of Skövde, Sweden. doi: <https://doi.org/10.3233/978-1-61499-902-7-349>
- Graisa, M., & Al-Habaibeh, A. (2011). An investigation into current production challenges facing the Libyan cement industry and the need for innovative total productive maintenance (TPM) strategy. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 22(4), 541-558. doi: <https://doi.org/10.1108/17410381111126445>
- Jacobsson, A., Boldt, M., & Carlsson, B. (2016). A risk analysis of a smart home automation system. *Future Generation Computer Systems*, 56, 719-733. doi: <https://doi.org/10.1016/j.future.2015.09.003>
- Jenkins, J. M., Kuhl, A. E., & Carter, A. L. (1977). Strain gage calibration of a complex wing. *Journal of Aircraft*, 14(12), 1192-1196. doi: <https://doi.org/10.2514/3.58914>
- Kokangül, A., Polat, U., & Dağsuyu, C. (2017). A new approximation for risk assessment using the AHP and Fine Kinney methodologies. *Safety Science*, 91, 24-32. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2016.07.015>
- Kovatchev, B., & Cobelli, C. (2016). Glucose variability: timing, risk analysis, and relationship to hypoglycemia in diabetes. *Diabetes Care*, 39(4), 502-510. doi: <https://doi.org/10.2337/dc15-2035>
- Labib, A. W. (2004). A decision analysis model for maintenance policy selection using a CMMS. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*. 10(3), 191-202. doi: <https://doi.org/10.1108/13552510410553244>
- Larsen, G. A. (2003). Measurement system analysis in a production environment with multiple test parameters. *Quality Engineering*, 16(2), 297-306. doi: <https://doi.org/10.1081/QEN-120024019>
- Li, L., Ambani, S., & Ni, J. (2009). Plant-level maintenance decision support system for throughput improvement. *International Journal of Production Research*, 47(24), 7047-7061. doi: <https://doi.org/10.1080/00207540802375705>
- Modarres, M. (2006). *Risk analysis in engineering: techniques, tools, and trends*. CRC press, Taylor and Francis Group, Boca Raton, Florida, USA.
- Modarres, M., Kaminskiy, M. P., & Krivtsov, V. (2016). *Reliability engineering and risk analysis: a practical guide*. CRC press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, FL, USA.
- Ni, J., & Jin, X. (2012). Decision support systems for effective maintenance operations. *CIRP annals*, 61(1), 411-414. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cirp.2012.03.065>

- Nielsen, D. S. (1999). *What is traceability and why do we calibrate*, ASQ Midwest Conference. Erişim adresi: <https://www.hn-metrology.com/Papers/traceabl.htm>
- Özçelik A. (2013). *İş sağlığı ve güvenliğinde fine- kinney yöntemiyle risk yönetimi: Mermer işletmesi örneği*, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Payne, G. C. (2005). Calibration: What is it?, *Quality Progress*, 38(5), 72-76. Erişim adresi: <https://search.proquest.com/docview/214772685/6A40F031373543C4PQ/1?accountid=16716>
- Peruchi, R. S., Paiva, A. D., Balestrassi, P. P., Ferreira, J. R., & Sawhney, R. (2014). Weighted approach for multivariate analysis of variance in measurement system analysis. *Precision Engineering*, 38(3), 651-658. doi: <https://doi.org/10.1016/j.precisioneng.2014.03.001>
- Rasoyska, I., Chebel-Morello, B., & Zerhouni, N. (2005). Process of s-maintenance: decision support system for maintenance intervention. *IEEE Conference on Emerging Technologies and Factory Automation*, 2,8. doi: <https://doi.org/10.1109/ETFA.2005.1612741>
- Ruschel, E., Santos, E. A. P., & Loures, E. D. F. R. (2017). Industrial maintenance decision-making: A systematic literature review. *Journal of Manufacturing Systems*, 45, 180-194. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2017.09.003>
- Selig, E. T. (1980). Soil stress gage calibration. *Geotechnical Testing Journal*, 3(4), 153-158. doi: <https://doi.org/10.1520/GTJ10912J>
- Shaji, A. (2006). Measurement system analysis, *Third IEEE International Workshop on Electronic Design, Test and Applications (DELTA'06) Kuala Lumpur*, 4, 396. doi: <https://doi.org/10.1109/DELTA.2006.62>
- Skopinski, T. H., Aiken, W. S., & Huston, W. B. (1953). *Calibration of strain-gage installations in aircraft structures for the measurement of flight loads* (Vol. 1178). National Advisory Committee for Aeronautics, Langley Aeronautical Lab.; Langley Field, VA, USA.
- Smith, R., McCrary, S. W., & Callahan, R. N. (2007). Gauge repeatability and reproducibility studies and measurement system analysis: a multimethod exploration of the state of practice. *Journal of Industrial Technology*, 23(1), 2-12. Erişim adresi: <https://www.semanticscholar.org/paper/Gauge-Repeatability-and-Reproducibility-Studies-and-Smith-McCrary>
- Tahir, Z., Prabuwno, A. S., & Aboobaider, B. M. (2008). Maintenance decision support system in small and medium industries: an approach to new optimization model. *International Journal of Computer Science and Network Security*, 8(11), 155-162. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.535.2050&rep=rep1&type=pdf>
- Turgay, D. (2003). Kumpas kalibrasyonunda ölçüm belirsizliği hesaplama örneği ve belirsizliğin ISO 14253-1'e göre değerlendirilmesi, *TMMOB 5.Ulusal Ölçümbilim Kongresi Eskişehir, Türkiye*, 44.
- Türkoğlu, A. K. (2005). Kalibrasyon periyodu neye göre belirlenir? *VI. Ulusal Ölçümbilim Kongresi*, 17-18.
- Vanderhaegen, F., & Carsten, O. (2017). Can dissonance engineering improve risk analysis of human-machine systems? *Cognition, Technology & Work*, 19, 1-12. doi: <https://doi.org/10.1007/s10111-017-0405-7>
- Villa, V., Paltrinieri, N., Khan, F., & Cozzani, V. (2016). Towards dynamic risk analysis: A review of the risk assessment approach and its limitations in the chemical process industry. *Safety Science*, 89, 77-93. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2016.06.002>
- Wakiru, J. M., Pintelon, L., Muchiri, P. N., & Chemweno, P. K. (2019). A review on lubricant condition monitoring information analysis for maintenance decision support. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 118, 108-132. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2018.08.039>
- Watts, J. M., & Hall, J. R. (2016). Introduction to fire risk analysis. In *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering* (pp. 2817-2826). Springer, New York, NY, USA.
- Wu, Y., Abdel-Aty, M., & Lee, J. (2018). Crash risk analysis during fog conditions using real-time traffic data. *Accident Analysis & Prevention*, 114, 4-11. doi: <https://doi.org/10.1016/j.aap.2017.05.004>
- Xiang, X., Yu, C., & Zhang, Q. (2017). On intelligent risk analysis and critical decision of underwater robotic vehicle. *Ocean Engineering*, 140, 453-465. doi: <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2017.06.020>
- Ye, Z., Strong, C. K., Shi, X., Conger, S. M., & Huft, D. L. (2009). Benefit-cost analysis of maintenance decision support system. *Transportation research record*, 2107(1), 95-103. doi: <https://doi.org/10.3141/2107-10>