

BETONARME KARAYOLU KÖPRÜLERİNİN MUAYENESİ, DERECELENDİRİLMESİ ve ÖNCELİKLENDİRİLMESİ

¹Hikmet BAYIRTEPE, ²Onur ŞENER

¹Gazi Üniversitesi İnşaat Müh. Böl. Ankara
Tel: (312) 212 32 03, E-Mail: hikmetb@gazi.edu.tr

²PROYAPI Mühendislik Müşavirlik A.Ş. Ankara
Tel: (216) 455 63 86, E-Mail: onursener@proyapi.com

Özet

Ulaşım sistemlerinde hizmet seviyesi ve güvenliğin azami seviyede tutulması ve sistem bileşenlerinin ömrü ile paralel oluşabilecek aksaklıkların en aza indirgenmesi için özellikle kara ulaşım sisteminin önemli bir yapısal bileşeni olan köprülerin düzenli bakım onarımı önem taşımaktadır. Köprüler; statik, dinamik ve sismik yükler altında fonksiyonlarını yerine getirdiğinden köprülerle ilgili değerlendirmelerde, durum değerlendirmesi yanında sismik performans değerlendirmesi de yapılmalıdır. Bu her iki değerlendirmeye göre derecelendirme ve önceliklendirme uzman kişiler tarafından yapılarak bakım onarım faaliyetlerinin planlanması ve programlanması sağlanmalıdır. Köprülerin bakımı, onarımı ve yenilenmesi ile ilgili kararların alınabilmesi için düzenli bir izleme süreci gerekmektedir. Gelişmiş ülkeler bunu sağlayabilmek için Köprü Yönetim Sistemleri (KYS) oluşturmuşlardır ve günümüzde de bunu geliştirmeye devam etmektedirler. Köprülerin derecelendirilmesi; yapısal durum derecelendirilmesi ve sismik durum derecelendirilmesi olarak ikiye ayrılmaktadır. Yapısal durum derecelendirmesi köprüyü oluşturan her bir elemanın mevcut durumu ile ilgili bilgi verir. Sismik durum derecelendirmesinde ise performansa dayalı tasarım kullanılarak çeşitli önemdeki köprüler için farklı sismik risk seviyelerinde farklı performansların tahmin edilmesi sağlanır. Köprülerde yapılacak faaliyetin ne olacağına ve önceliğe; yapısal ve sismik durum derecelendirmesi bir bütün olarak değerlendirilip, sosyoekonomik faktörler de göz önünde bulundurularak karar verilmelidir. Bu kapsamda KYS'yi oluşturan başlıca unsurlar olan muayene, yapısal değerlendirme, derecelendirme, önceliklendirme ve iyileştirme aşamaları detaylı bir şekilde irdelenmeli ve uygulanmalıdır.

Giriş

Ülkemizde ulusal taşımacılık faaliyetleri ağırlıklı olarak karayolu ile yapılmaktadır. Karayolu, başlıca yol ve köprü olmak üzere birçok unsurun birleşmesinden meydana gelmektedir. Karayollarında hizmet yeteneğinin ve güvenliğin olası tüm şartlar altında sağlanabilmesi oldukça önemlidir.

Her koşulda karayolu ulaşımının arzu edilen hizmeti sunması, güvenliğin ve hizmet devamlılığının sağlanması, yol ve köprülerin düzenli bakım onarımını önemli ve hayati kılmaktadır.

Köprülerin bakımı, onarımı ve yenilenmesi ile ilgili karar verme işlemi, düzenli bir izleme süreci gerektirmektedir. Gelişmiş ülkelerde, bu sürece yönelik Köprü Yönetim Sistemi (KYS) oluşturulmuş ve halen geliştirilmektedir.

Köprü Yönetim Sisteminin temel işlevi, köprülerin bakım ve yönetiminden sorumlu kurumun sahip olduğu bütçe ve kaynak miktarları göz önüne alınarak, köprülerin bakım, onarım ve yenileme maliyetlerini köprülerin yaşamı boyunca optimum seviyede tutmak, köprülerin güvenliğini, yeterliliğini ve hizmet kalitesini sürekli şekilde temin etmek ve bakım - onarıma yönelik uygulamaların belirlenmesini sağlamaktır. Köprü Yönetim Sistemleri, yetersiz bakım uygulamaları sebebiyle çok sayıda köprü bakım onarım ihtiyacının birden ortaya çıkmasını veya yığılmasını önlemeyi ve bakım-onarım eksikliği nedeniyle köprü güvenliğinin tehdit edici seviyelere ulaşmasını engellemeyi sağlamaktadırlar [1].

Bu çalışması kapsamında; gelişmiş ülkelerde mevcut Köprü Yönetim Sistemini oluşturan unsurlar incelenmekte, bakım onarım faaliyetleri için karar verme işleminin en önemli aşaması halindeki köprü muayenesi ve muayene türleri özetlenmekte ve bir köprünün sismik kuvvetlere karşı hassasiyetini niteleyen sismik hassasiyet derecesinin belirlenmesi irdelenmektedir.

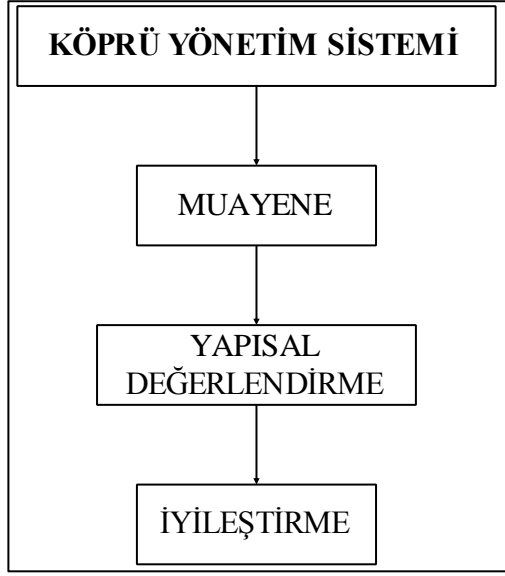
Köprü Yönetim Sistemi

Köprülerin bakımı, onarımı ve yenilenmesi ile ilgili karar verme işlemi, düzenli bir izleme süreci gerektirmektedir. Gelişmiş ülkelerde, bu sürece yönelik Köprü Yönetim Sistemi (KYS) oluşturulmuş ve halen geliştirilmektedir. Yönetimin başlıca amacı yetersizlikleri belirlemek ve onarım sırasında trafik güvenliğini sağlayarak köprü bakımını yapmaktır.

Köprü Yönetim Sistemi(KYS) başlıca muayene, yapısal değerlendirme ve iyileştirme adımlarından oluşmaktadır. KYS'yi oluşturan temel unsurlar akış diyagramı Şekil 1'de verilmektedir. KYS, muayene ve değerlendirme işlemlerini şu şekilde uygulayarak kullanmaktadır:

1. Muayene
2. Problemlerin, belirli incelemelerin ve köprü durumu verilerinin birleştirilmesi,
3. En uygun inceleme sıklığının belirlenmesi,
4. Oyulma, deprem, araç çarpması gibi durumların oluşturacağı hasarın ölçülmesi.

Köprü yönetim sistemi halen sadece görsel olarak elde edilen durum verilerini içermektedir. Birçok araştırmadan elde edilen veri değerlerinin, tahrip edici olmayan değerlendirmelerin sonuçlarıyla karşılaştırılması gerekmektedir [2].



Şekil 1. Köprü yönetim sisteminin temel unsurları.

Köprü Muayenesi

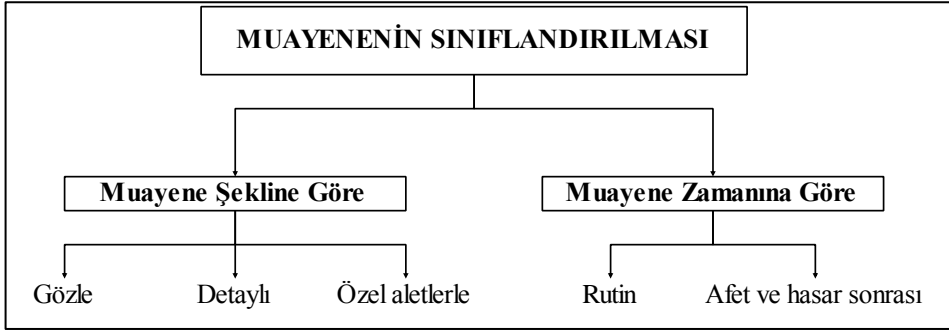
Köprü muayenesi etkili bir bakım onarım sürecinin en önemli adımıdır. Bu bölümde köprü muayenesinin türleri, sıklığı ve sınıflandırılması özetlenmekte; muayene edilmesi gereken başlıca muayene elemanları belirtilmektedir.

Her biri belirli bilgileri elde etmekte kullanılan çeşitli muayene türleri vardır. Bunlar; ilk muayene, rutin muayene, kritik kırılma muayenesi, su altı muayenesi, özel muayene ve hasar muayeneleridir. İlk muayene yeni yapılan köprünün inşası bittikten sonra, köprünün projeye uygunluğunu belirlemek için yapılmaktadır. Rutin muayeneler, köprünün durumunu izlemek için en fazla 24 ay ara ile yapılmaktadır. Hasar muayeneleri ise çarpma, yangın, sel gibi olaylar sonucunda oluşan hasarı belirlemek için yapılmaktadır. Köprülerde uygulanan muayene türleri ve sıklığı Tablo 1’de özetlenmektedir [3].

Tablo 1. Muayene türleri ve sıklığı.

Muayene Türleri ve Sıklığı	
Muayene Türü	Muayene Aralığı
İlk	Yapım ve büyük iyileştirme sonrasında
Rutin	24 ay
Su altı	60 ay
Özel	Gerektiğinde
Hasar	Gerektiğinde

Yapılış şekli ve zamanına göre muayene türlerinin sınıflandırılması Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Köprü muayenesinin sınıflandırılması.

İlk Muayene

İlk muayene; yeni yapım veya büyük çaplı değişiklik veya iyileştirme sonrası köprünün projesine uygunluğunun kontrol edildiği bir referans muayenedir. Onaylı projesi aleyhine (varsa) oluşmuş herhangi bir eksik/yanlış/yetersizlik tespit edilmeli, çatlak, kırık, çökme, gibi bozulma şeklinde oluşmuş yapım hataları ile birlikte kayıt edilerek veri tabanına aktarılmalıdır.

Rutin Muayene

Rutin muayene; köprünün fonksiyonel ve fiziksel durumunu belirlemek, bir önceki incelemede kaydedilen durumlardaki değişikliği tanımlamak için düzenli aralıklar ile yapılan muayenedir.

Özel Muayene

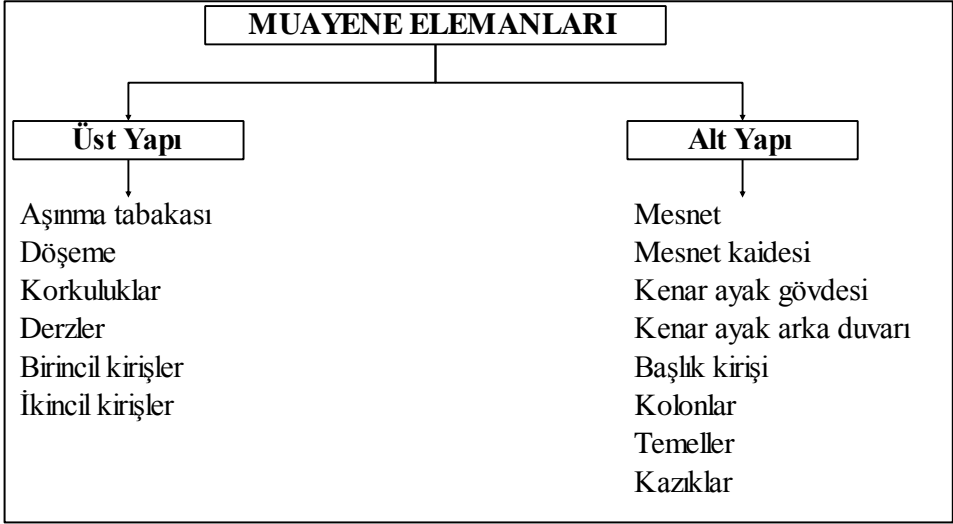
Özel muayene köprünün bir bölümünün daha detaylı incelenmesinin gerektiği durumlarda planlanır. Özel muayene; rutin, hasar ya da ilk muayeneleri takiben yapılır. Özel incelemeler; rutin muayenelerden daha detaylı incelemelerin gerektiği yapılarda ve gözlemcinin gerek duyduğu aralıklarla yapılır.

Hasar Muayenesi

Hasar muayenesi; çevresel faktörler ya da insan hareketleri sonucunda oluşan yapısal hasarları değerlendirmek için yapılan plansız muayenelerdir. Sel hasarı, yangın hasarı, araç çarpması gibi durumlar hasar muayenesi gerektiren olaylardır. Yük sınırlaması, köprü'nün tamamının ya da bir bölümünün trafiğe kapatılması gerekliliğinin belirlenmesi hasar muayenesi kapsamındadır.

Muayene Edilecek Başlıca Köprü Elemanları

Köprülerde muayenesi yapılacak başlıca elemanlar Şekil 3'te verilmektedir.



Şekil 3. Köprü muayene elemanları.

Köprülerin Derecelendirilmesi

Köprülerin derecelendirilmesini ikiye ayırmak gerekmektedir. Bunlardan ilki köprüyü oluşturan elemanların yapısal durumunun derecelendirilmesi; ikincisi ise bu elemanların afet olayları (sel, fırtına, deprem vb.) için durumunun derecelendirilmesidir.

Ülkemizde çok sayıda büyük ve aktif fayın bulunmasından dolayı, en çok karşılan afet olayı depremdir. Bu nedenle bu çalışma kapsamında afet olayları için değerlendirme deprem için yapılacaktır.

Köprülerin değerlendirilmesi yapılırken; "Yapısal Durum Derecesi" ve "Sismik Durum Derecesi" belirlenmeli, bu iki durum derecesi de göz önüne alınarak köprü için yapılacak faaliyete ve önceliğe karar verilmelidir.

Yapısal Durum Derecesi

Gelişmiş ülkelerde köprü elemanlarının yapısal durumlarını belirtmek için çeşitli derecelendirme sistemleri kullanılmaktadır. Bunlardan en yaygın olanları; Natioaş Bridge Inspection Standart (NBIS)'de tarif edilen 0 ila 9 aralığında değişen derecelendirme sistemi (10 dereceli sistem) ve AASHTO Köprü Elemanlarının Muayenesi El Kitabında tarif edilen 1 ila 4 aralığında değişen durum derecelendirme sistemidir(4 dereceli sistem). Ulusal KYS'de de 1 ila 4 aralığında değişen durum derecelendirme sistemi kullanılmaktadır.

Betonarme bir elemanın özellikle çatlak hasarı, elemanın durumu hakkında net bilgiler verir. Bu nedenle çatlağın tipini ve genişliğini doğru tespit etmek oldukça önemlidir. Aynı tip ve genişlikteki çatlak, normal donatılı betonda ve ön gerilmeli betonda oldukça farklı hasar derecesini belirtir. Bu çalışma kapsamında betonarme elemanlar için sadece çatlak genişliğine durum derecelendirmesi belirtilecektir. Çatlak genişliğine göre önerilen yapısal durum derecesi; 10 dereceli sistem için Tablo 2'de [4], 4 dereceli sistem için Tablo 3'de verilmektedir [5].

Tablo 2. Çatlak Genişliğine Göre Yapısal Durum Derecesi.

Önerilen Derece	Normal Donatılı Beton	Ön Gerilmeli Beton
	Çatlak Genişliği (mm)	Çatlak Genişliği (mm)
9	Çatlak yok	Çatlak yok
8	< 0,8	< 0,05
7	0,8 – 1,6	0,06 – 0,10
6	1,7 – 2,4	0,11 – 0,15
5	2,5 – 3,2	0,16 – 0,25
4	3,3 – 4,0	0,26 – 0,40
3	4,1 – 4,8	0,41 – 0,60
2	4,9 – 5,6	0,61 – 0,80
1	>5,6	>0,80
0	Kırılma	Kırılma

Tablo 3. Çatlak Genişliğine Göre Yapısal Durum Derecesi

Önerilen Derece	Normal Donatılı Beton	Ön Gerilmeli Beton
	Çatlak Genişliği (mm)	Çatlak Genişliği (mm)
1	< 1,6	< 0,10
2	1,6 – 3,2	0,10 – 0,23
3	3,2 – 4,8	0,25 – 0,76
4	> 4,8	> 0,76

Sismik Durum Derecesi

Köprülerin sismik hassasiyetinin belirlenmesi, bir köprüden afet durumunda beklenen performans ve bu performansı sağlayacak güçlendirme işlemleri ile ilişkilidir ve bir bütündür. Bu çalışma kapsamında bir köprünün sismik hassasiyetinin hesaplanarak önceliklendirilmesi işleminin aşamaları özetlenmektedir.

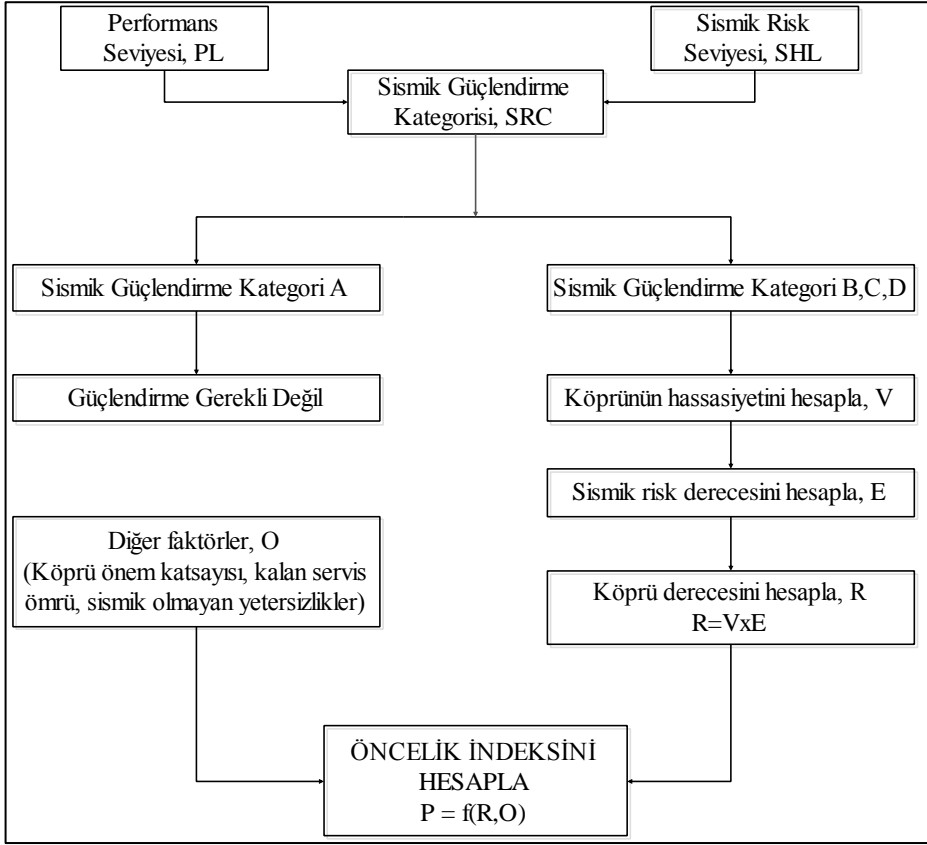
Karayolu köprülerinin sismik güçlendirilmesinde performansa dayalı tasarım kullanılmaktadır. Performansa dayalı tasarım; çeşitli önemdeki köprüler için farklı sismik risk seviyelerinde farklı performansların tahmin edilmesine olanak sağlar.

Bir köprünün kalan servis ömrü 15 yıl veya daha az ise, geçici köprü ise veya köprü trafiğe tamamen kapalı ise o köprü için güçlendirme işlemi yapılmaz. Güncel sismik standartlara göre yapılan ve sismik performans kategorisi A'daki köprüler için sismik derecelendirme işlemi yapılmaz. SPC B'deki köprüler için sadece mesnetler, oturma genişliği ve sıvılaşma için hassasiyet derecelendirilmesi gerekmektedir. SPC C ve SPC D'deki köprüler için mesnetler, oturma genişliği ve sıvılaşma için hassasiyet derecelendirilmesine ek olarak kolon, kenar ayak ve temel yetersizliği içinde hassasiyet derecelendirilmesi gerekmektedir[6].

Bir köprünün sismik durum derecesinin hesaplanmasının akış diyagramı Şekil 4'te verilmektedir[6].

Federal Highway Administration(FHWA), Karayolu Köprüleri İçin Sismik Güçlendirme Kılavuzu'nda köprülerin sismik güçlendirme için önceliklendirilmesi ile ilgili iki derecelendirme sistemi tanımlanmaktadır. Bunlar; indisleri kullanarak sismik derecelendirme metodu ve beklenen hasarı kullanarak sismik derecelendirme metodudur. Bu çalışma kapsamında köprülerin sismik derecelendirilmesinin "İndisleri kullanarak sismik derecelendirme metodu" ile yapılması özetlenmektedir.

Önceliklendirme için köprülerin sismik derecelendirilmesi hesabında; yapısal hassasiyet, sismik ve geoteknik riskler ile sosyoekonomik faktörler dikkate alınmaktadır. Derecelendirme sistemi nicel ve nitel kısımlardan oluşur. Nicel kısım; yapısal hassasiyete ve sismik riske bağlı sismik derecelendirmeden oluşmaktadır. Nitel kısım ise köprü önemi, sismik olmayan yetersizlikler ve kalan servis ömründen oluşmaktadır.



Şekil 4. Köprü Sismik Derecesinin Hesaplanması

Sonuç

Bu çalışma kapsamında diğer gelişmiş ülkelerdeki köprü yönetim sistemlerinde uygulanan yöntemler ve köprü elemanlarının durumlarının değerlendirilmesinde kullanılan kıstaslar belirtmeye çalışılmıştır. Köprülerin muayenesi, değerlendirilmesi ve önceliklendirilmesi ile ilgili başlıca şu sonuçlara ulaşılmıştır [4];

- Bütün muayene türleri için muayenenin hangi sıklıkla yapılması ve hangi durumlarda muayene sıklığının azaltılması gerektiği belirtilmelidir.
- Köprü muayenesini yapacak Teknik Elemanın görev ve sorumlulukları net bir şekilde tanımlanmalı ve konu ile ilgili gerekli eğitimlere tabi tutulmalıdır. Bu, bir köprüyü farklı kişiler muayene ettikten sonra aynı veya yakın sonuçlara ulaşmak, yani yeknesaklığı sağlayabilmek ve etkin bir KYS için oldukça önemlidir.

- Köprüler için yapısal durum derecelendirilmesi ile sismik durum derecelendirilmesinin birlikte yapılması etkin bir KYS sağlayabilmek için önemlidir.

Yapılan analizler sonucunda sismik durum derecesinin köprülerin önceliklendirilmesini oldukça etkileyebileceği görülmektedir. Şöyle ki; yapısal durum derecelendirilmesine göre yapılan önceliklendirme sonucunda orta sıralarda yer alan bir köprü, sismik durum derecelendirilmesi sonucuna göre genel değerlendirmede daha üst sıralarda yer alabilir. Bu durumun tersi de olasıdır.

- Köprülerde bakım, onarım, iyileştirme faaliyetlerini gerçekleştirmeden önce, köprülerin sismik hassaslık dereceleri de hesaplanmalıdır. Yapılacak olan faaliyete, köprü elemanlarının yapısal durum derecelerine ve köprünün sismik hassaslık derecesine bakılarak karar verilmelidir.

Kaynaklar

1. Karayolları Genel Müdürlüğü. (2012). Köprü Muayenesi El Kitabı. Ankara: KGM Tesisler ve Bakım Dairesi Başkanlığı, 1,3-4
2. Khan, M.A. (2010). Bridge and Highway Structure Rehabilitation and Repair. New York: McGraw-Hill Book Co., 1-7, 335-340,344-346, 349.
3. Department of Transportation. (2010). Bridge Inspection Manual. Indiana: Department of Transportation, 3-12,15-17, 29-30.
4. ŞENER, O.,(2014)"Karayolu Köprü Onarımı ve Yenilemeleri İçin Yeni Bir Uzman Sistem Yaklaşımı", Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi
5. AASHTO.(2010). Bridge Element Inspection Guide Manual, 31-32
6. Federal Highway Administration. (2006). Seismic Retrofitting Manual for Highway Structures: Part 1- Bridges. Washington: Federal Highway Administration United States Department of Transportation, 1-22, 111-130.

Anahtar Sözcükler: Köprü, Muayene, Bakım, Yönetim Sistemleri