

# Yazılım Kalite Maliyetleri Üzerine Bir Çalışma – Farklı Sektörlerden Proje İncelemeleri

Murat Salmanoğlu<sup>1</sup>, Banu Deniz Yanık<sup>2</sup>, Feyza Nur Demir<sup>3</sup>, Zeynep Gürel<sup>4</sup>, Onur Demirörs<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Middle East Technical University, Ankara, Turkey  
{musalman, demirors}@metu.edu.tr

<sup>2</sup> TUBİTAK-BİLGEM-YTE, Ankara, Turkey  
deniz.yanik@tubitak.gov.tr

<sup>3</sup> Comodo Yazılım A.Ş., Ankara, Turkey  
demirfeyzanur08@gmail.com

<sup>4</sup> Comodo Yazılım A.Ş., Ankara, Turkey  
gurellzeynep@gmail.com

**Özet.** ODTU Enformatik Enstitüsünde yüksek lisans ve doktora yapan öğrencilerin dersleri kapsamında kendi kurumlarındaki gerçek projeler üzerinde yaptıkları kalite maliyeti hesaplama projeleri üzerinden analizler gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada; bu analizler sonucunda elde edilen sonuçların ve bu tür çalışmaların hem sektöre hem de bu analizleri gerçekleştiren ve aynı zamanda sektörde çalışan öğrencilerin profesyonel bakış açılarına olan faydaları incelenmiştir.

**Abstract.** Graduate and PhD students of METU Informatics Institute have calculated cost of quality of real projects in their own organization as an assignment and analyzed their findings. This study examines the results of these analyses and this type of assignments on industry and on Professional viewpoints of the students who are also participants in the industry.

**Anahtar kelimeler:** Kalite maliyeti, yazılım kalitesi, süreç iyileştirme

## 1 Giriş

Kalite maliyetlerinin doğru olarak hesaplanabilmesi, ürün geliştirmesi yapan kurumlarda, üretim ve kontrol ile ilgili olarak yürütülecek maliyet analizlerinin sağlıklı olarak yapılabilmesini sağlayacaktır. Bununla birlikte kurumların süreçleriyle ilgili iyileştirme noktalarının belirlenebilmesi için gerekli olan nitel girdilerin önemli bir kısmı da kalite maliyetlerinin hesaplanmasıyla sağlanacaktır. Kalite maliyetlerinin doğruluğu, kurumların kalite birimlerinin yanı sıra projelerde geliştirme ve yönetim faaliyetlerinde aktif olarak görev alan tüm paydaşların bu konuda yeterli teorik ve pratik bilgiye sahip olması ile doğru orantılıdır.

Bu araştırma kapsamında, ODTU Enformatik Enstitüsü'nde verilen yazılım süreç iyileştirme ve yazılım kalite yönetimi dersleri kapsamında kalite maliyetleri ile ilgili teorik eğitim alan öğrencilerin kendi kurumlarında yaptıkları analizler ve bunların sonuçları incelenmiştir.

Araştırmanın iki temel noktada fayda sağlaması hedeflenmektedir. İlk faydası, öğrencilerin teorik bilgileri gerçek ortamları ve verileri kullanarak ne kadar etkin ölçebildiklerinin ve bu ölçümlerden ne kadar doğru çıkarımlar yapabildiklerinin analiz edilmesidir. Yapılacak bu çıkarımlar daha sonraki dönemlerde verilecek eğitimlerde girdi olarak kullanılarak, ilgili sektörlerde paydaş olarak görev alan ve alacak olan öğrencilerin kalite maliyeti konusundaki bilinçlerinin artırılması sağlanacaktır. Bu çalışmanın ikinci faydası ise, ileride yapılacak olan akademik ve pratik çalışmalar için Türkiye'de hali hazırda kolaylıkla ulaşılamayan sektör temelli kalite maliyetleri ve bu maliyetlerin projenin temel maliyetleriyle kıyaslanmasına yönelik temel seviyede verilerin sağlanacak olmasıdır.

Çalışmanın ilerleyen kısımlarında öncelikle kalite maliyetleri ve kullanım amaçlarıyla ilgili temel bilgiler verilmiş ve daha önce kalite maliyetleri konusunda yapılmış olan çalışmalar özetlenmiştir. Analiz başlığında, toplanan verilerle ilgili yapılan analizler ve ulaşılan sonuçlar, sonuç bölümünde ise çalışmanın sonucunda ulaşılan çıktılar açıklanmıştır.

## 2 Kalite Maliyeti ve Kullanım Amaçları

Kalite maliyeti, ismi dolayısıyla ürünü kaliteli bir biçimde ortaya çıkarmanın maliyeti gibi görünse de; aslında ürünü kaliteli bir biçimde üretmemekten ortaya çıkan maliyettir [1]. Bu yüzden maliyeti düşürmek için iş ilk yapıldığı anda doğru şekilde yapılmalıdır [2]. Kalite maliyeti ölçümü, bazı görüşlere göre gereksiz ve pahalı bir aktivite olarak görünse de; süreçlerin performansını iyileştirmek açısından büyük önem taşır [3].

Crosby'nin verdiği bir örneğe göre, 1967 ve 1977 yılları arasında Bilişim Sistemlerinde kalite maliyeti yüzde 5 oranında düşürülmüştür. Bu kazanç 1968'de 30\$ milyon, 1971'de 157\$ milyon, 1973'de 328\$ milyon ve 1976'da 530\$ milyon olarak gözlemlenmiş ve bu rakamlar "hata önleme" çalışmaları ile elde edilmiştir [2].

Kaliteli yazılım ürünleri geliştirmek ile ilişkili maliyetler üç kategoride incelenmiştir [1]:

### 1. Uyumsuzluk Maliyetleri

- **Dış Başarısızlık Maliyetleri**; süreç iyileştirme planı çerçevesinde ele alınan her türlü önleme ve değerlendirme faaliyetlerine rağmen, ürün müşteriye teslim edildikten sonra ortaya çıkan başarısızlıkların toplam maliyetleridir.
- **İç Başarısızlık Maliyetleri**; süreç iyileştirme planı çerçevesinde ele alınan her türlü önleme ve değerlendirme faaliyetlerine rağmen, ürün müşteriye teslim edilmeden önce ortaya çıkan başarısızlıkların toplam maliyetleridir.

2. **Ölçme ve Değerlendirme Maliyetleri**; girdi, yan ürün ve nihai ürün hatalarını belirlemeye yönelik ve hizmetlerin istenilen ölçülere, prosedürlere uygunluğunu denetleyen faaliyetlerin maliyetleridir.
3. **Önleme Maliyetleri**; hataları oluşmadan önlemeye yönelik tüm paydaşların görevlerini ilk seferde doğru yapmalarının sağlanması için gerekli sistem, makine ve kişilerin maliyetidir.

## 2.1 Kalite Maliyeti Hesaplama Örneği [1]:

Tablo 1’de verilen örnek projede harcanan işgüçleri saat cinsinden ele alınmıştır. Kalite maliyeti saat bazında ve kategorilerine ayrılarak incelenmiştir.

**Tablo 1 - Örnek bir projede kalite maliyeti hesabı**

Proje Aktivitesi	Harcanan zaman (Saat)	Kalite Maliyeti Parçası mı?	Kalite Maliyeti Bileşenleri
Eğitim	10	Evet	Önleme Maliyeti
Gereksinimlerin Toplanması	25	Hayır	Uygulanabilir Değil
Gereksinimlerin Gözden Geçirilmesi	5	Evet	Ölçme ve Değerlendirme Maliyeti
Gereksinimler Üzerinde Yeniden Çalışma	6	Evet	Başarısızlık Maliyeti
Kodlama	20	Hayır	Uygulanabilir Değil
Kodların Gözden Geçirilmesi	6	Evet	Ölçme ve Değerlendirme Maliyeti
Kod Üzerinde Yeniden Çalışma	2	Evet	Başarısızlık Maliyeti
Test Aktiviteleri	10	Evet	Ölçme ve Değerlendirme Maliyeti
Test Üzerinde Yeniden Çalışma	5	Evet	Başarısızlık Maliyeti
Devreye Alma	18	Hayır	Uygulanabilir Değil

Bu analiz doğrultusunda Kalite Maliyeti hesaplaması şu şekilde gerçekleşir:

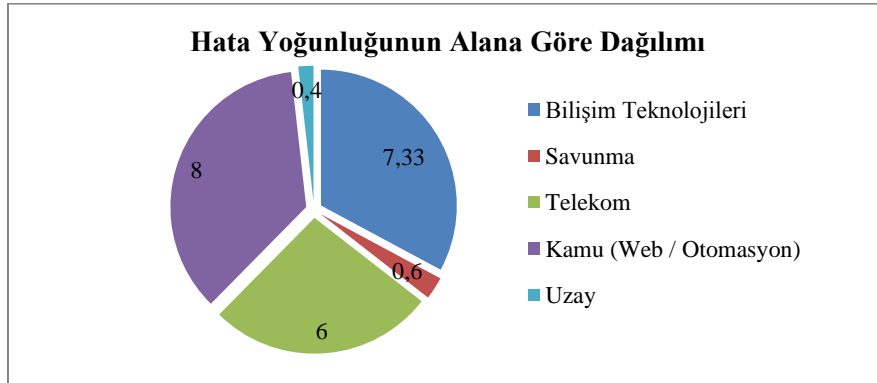
- Önleme Maliyeti = 10 saat
- Ölçme ve Değerlendirme Maliyeti = 5 + 6 + 10 = 21 saat
- Uyumsuzluk Maliyeti = 6 + 2 + 5 = 13 saat
- Kalite Maliyeti = Önleme Maliyeti + Ölçme ve Değerlendirme Maliyeti + Uyumsuzluk Maliyeti = 44 saat

### 3 Kalite Maliyeti ile İlgili Çalışmalar

Yazılım kalite maliyetlerinin ölçülmesi, izlenmesi ve etkin bir şekilde yönetilmesini kapsayan çalışmalar [4] son 50 yıl içerisinde hatırı sayılır sayıda artmıştır. Bu çalışmalar teorik modellerden, hesaplama yaklaşımlarına ve yazılım yaşam döngüsüne göre oluşabilecek farklılıklardan; metriklerin hesaplanma yöntemlerine ve bu metriklerin süreç iyileştirmeye olan etkisine kadar birçok şekilde [5] yapılmaktadır. Her ne kadar çalışmaların sayısı ve çeşitliliği hızlı bir şekilde artıyor olsa da; endüstri verilerinin kıyaslama ve dayanak noktası oluşturmak adına kullanıldığı ve yayımlandığı çalışmaların sayısı yeterli değildir. Oysa ki endüstride kalite ve kalite maliyetlerinin etkin kurgulanması konularının her zaman biraz daha bulanık olduğu, takvim ve maliyet sıkışıklıklarında arka planda kalan konular olma olasılığının yüksek olduğu [6] bilinen bir zafiyettir.

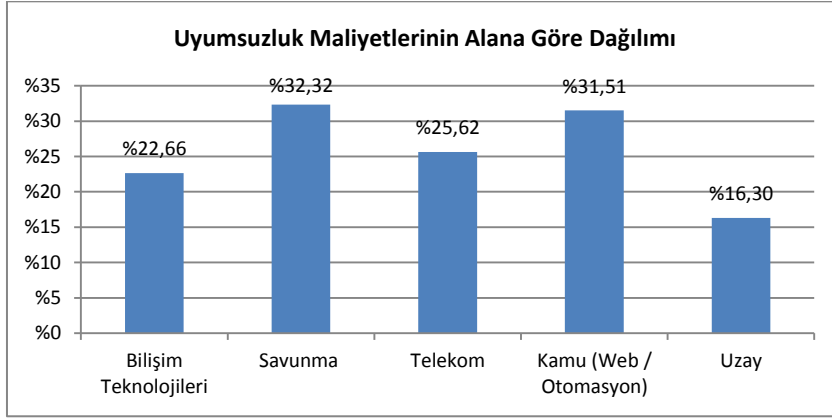
Bu konuda yapılan çalışmaların sayısı çok olmasa da; alanında başarılı olarak kurgulanmış ve ilgili alanda kendinden sonraki çalışmalara referans olacak nitelikte çalışmalar [7] da varlık bulmaktadır. Makalenin bu kısmında bu çalışmaların bazılarını yer verilecektir.

Reifer [8] yaptığı çalışmasında endüstride başarılı bir şekilde tanımlanmış ve birden çok veri tabanında kayıtlı 1800 projeden seçtiği 600 projeye ait analizlerine yer vermiştir. Çalışmasında yazılım yaşam döngüsünün fazlarına göre, proje büyüklüğü ve üretkenliklerine göre çalışma alanı bazında projelerin dağılımlarına yer vermiştir. Bu noktada çarpıcı olan analizlerden biri, kalite maliyetlerini direk etkileyecek olan Hata Yoğunluğu [8] (bin kod satırdaki hata sayısı) ölçümünün çalışma alanlarına göre dağılımıdır. Bu çalışma sayesinde çalışma alanına özgü olarak, projelerin doğası gereği sahip olacağı hata sayısı ve kalite gereksinimlerine dair bir fikir elde etmek mümkündür. Örneğin, Savunma ve Uzay çalışma alanlarında gerçekleştirilen projelerin hata yoğunluğunun diğer alanlara göre 16 kat daha önemli olduğu Şekil 1'de gözlemlenebilmektedir.



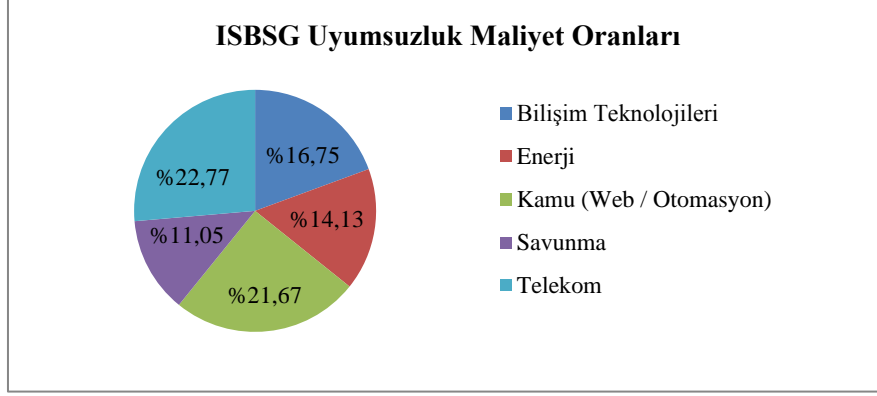
Şekil 1 - Hata yoğunluğunun alana göre dağılımı [8]

Tan'ın [9] yaptığı çalışmada ise, 530 farklı çalışma alanından seçilmiş projelerinin işgücü dağılımları incelenmiştir. Bu kapsamda entegrasyon ve kalifikasyon testlerine ait verilerin dağılımının, alana özgü olarak dağılımlarını incelemek mümkündür. Bu çalışma sayesinde alanlara özgü yapılan test faaliyetleri hakkında fikir sahibi olunabilir. **Şekil 2** incelendiğinde ise veriler üzerinde Uzay alanına ait son entegrasyon ve kalifikasyon testlerine ayrılan eforun, diğer alanlarda ayrılan eforun yarısı kadar olduğu gözlemlenmektedir.



**Şekil 2** - Uyumsuzluk maliyetlerinin alana göre dağılımı [9]

Bu kapsamda ISBSG Rev.9 [10] ile analiz edilip filtrelenen 740 proje incelenmiştir. Seçilen projelere ait test faaliyetleri özelinde ayrılan işgücünün toplam işgücüne oranları hesaplanmış ve **Şekil 3**'te özetlenmiştir. Bu çalışmada da, bir önceki çalışmada olduğu gibi alanlara özgü yapılan test faaliyetleri hakkında fikir sahibi olunabilir. Verilere bakıldığında Enerji sektörüne ait ilk kez işgücü verisinin varlığı gözlemlenmiştir ve **Şekil 3** incelendiğinde ise, veriler üzerinde Savunma alanına ait son test faaliyetlerinin, diğer alanlarda ayrılan işgücünün yaklaşık yarısı kadar olduğu gözlemlenmektedir.



Şekil 3 - ISBSG uyumsuzluk maliyet oranları [10]

### 3.1 Türkiye’de Yürütülmüş Çalışmalar

Yapılan literatür taraması sonucunda, Türkiye’de yazılım projelerinde kalite maliyetini araştıran az sayıda çalışmaya rastlanmıştır. Türkiye’de yapılmış yazılım süreci iyileştirme faaliyetlerinde yazılım kalite maliyetini inceleyen çalışmalar [11][12][13] bu kapsamda açıklanacaktır. Bunlardan ikisi özel sektörde, [11][12] diğeri ise kamu projesinde uygulanmış bir vaka incelenmesidir [13]. Her üç çalışmada da kalite maliyetleri Knox’un modeli referans alınarak hesaplanmıştır [14]. Knox yazılım kalite maliyeti kapsamındaki sınırlı veri havuzu nedeni ile üretim sektöründe gelişmekte olan kalite maliyet modelini kullanmış ve Software Engineering Institute (SEI)’a ait Geliştirme için Yetenek Olgunluk Modeli Entegrasyonu (CMMI-DEV) sürüm 1,2’yi [15] kalite maliyet modeline adapte ederek teorik bir Yazılım Kalite Maliyet Modeli oluşturmuştur [12] [14]. Ülkemizde yapılan vaka incelemelerinde toplam kalite maliyetlerinin toplam proje maliyetine oranı incelenmiştir. Toplam yazılım kalite maliyeti; uyum ve uyumsuzluk maliyetlerinin toplamı olarak iki grupta değerlendirilmiştir. Kaliteyi sağlama maliyetleri önleme ve değerlendirme maliyetleri toplamından oluşurken, kalitesizlik maliyeti iç ve dış hata maliyetleri toplamından oluşmaktadır [2][16].

Yapılan araştırmaların sonuçları incelendiğinde, Kaynak ve Canberi tarafından özel sektörde yapılan çalışmanın ilk uygulamasında toplam kalite maliyeti, toplam proje maliyetinin %35’ine ulaşırken; dış hatalardan kaynaklanan maliyet toplam proje maliyetinin %17’sine ulaşmıştır. İkinci uygulamada ise kalitenin sağlanmasına yönelik harcanan işgücü toplamının toplam proje maliyetinin %17’sine ulaştığı belirtilmiştir [12]. Özel sektörde yürütülen bir diğer çalışma ise Aksu ve Karagöz tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada kalite maliyeti hesaplaması yapılırken, Knox modelinin yanı sıra Hagan’ın tanımladığı ölçümler [17] de kullanılmıştır. Sonuç kısmında toplam yazılım kalite maliyeti 87,817 (adam-ay) olarak hesaplanmış ve bu toplamın %43’ünü uyum maliyetleri oluştururken, %57’sini uyumsuzluk maliyetlerinin oluşturduğu belirtilmiştir. Toplam yazılım kalite maliyeti oranı, toplam yazılım kalite maliyeti oranının proje işgücüne oranı olarak hesaplanmış

ve bunun %59,61 olduğu belirtilmiştir. Son olarak bir kamu kurumunda yürütülen iki yazılım projesinde Demirörs, Yıldız, ve Güceğlioğlu tarafından bir çalışma yürütülmüş ve dış hatalardan kaynaklanan kalite maliyeti incelenmiştir [13]. Sonuç kısmında, dış hatalardan kaynaklanan kalite maliyetinin toplam proje geliştirme işgücüne oranı incelenmiş ve bu oranın ilk proje için %6,29, ikinci proje için %21,27 olduğu ifade edilmiştir.

#### 4 Analiz

Kalite maliyetiyle ilgili yürütülen çalışmanın verilerinin toplanabilmesi için Orta Doğu Teknik Üniversitesi Enformatik Enstitüsü öğrencileri ile çalışılmıştır. Yazılım yönetimi bölümünde verilen Yazılım Süreç İyileştirme dersi ile Bilişim Sistemleri bölümünde verilen Yazılım Kalite Yönetimi dersini alan öğrencilerinden çalıştıkları kurumlarda yürütülen bir projeye ilgili kalite maliyeti verilerini toplamaları istenmiştir. Hepsi yüksek lisans ya da doktora yapan ve yazılım geliştirme çalışmaları yürütülen kurumlarda çalışan öğrenciler 2 ya da 3 kişilik gruplar halinde çalışmış, farklı kuruluşlarda görev alan öğrencilerden oluşan gruplarda öğrencilerden birisinin kuruluşuna ait bir proje ele alınmıştır.

Öğrencilerden istenen kalite maliyeti bilgileri içerisinde aşağıdaki bilgiler bulunmaktadır:

- Çalıştıkları kuruluşlarla ilgili bilgiler
  - Sektör, büyüklük, iş alanı
- Verilerini topladıkları proje ile ilgili bilgiler
  - Sektör, tür, kısa özet, fonksiyonel büyüklük, süre, proje bitişinden bugüne geçen süre, bütçe, ekip büyüklüğü, geliştirme yaşam döngüsü
- Kalite maliyeti hesaplamasıyla ilgili bilgiler
  - Varsayımlar, kısıtlar, olası iyileştirme önerileri, bulgularla ilgili yorumlar, karşılaşılan zorluklar, katma değerli görevler, önleme maliyetleri, değerlendirme maliyetleri, iç hata maliyetleri, dış hata maliyetleri

Dersi alan gruplardan 8 tanesi istenen bilgileri ulaştırmıştır. Bu çalışmada da teslim edilen 8 projenin verileri üzerinden analizler gerçekleştirilmiş ve sonuçları özetlenmiştir. Farklı gruplardan gelen bilgiler içerisinde verilerin çözünürlüğü ve birimleri arasında farklılıklar olabilmektedir, böyle durumlarda bazı varsayımlar kullanılarak verilerin eşleştirilmesi sağlanmıştır. Makalenin ilgili kısımlarında hangi sorularda bu şekilde zorluklarla karşılaşıldığı ve bulunan çözüm yöntemleri açıklanmıştır.

Toplanan projelerin ait olduğu kuruluşlarla ilgili özet bilgi Tablo 2’de, projelerle ilgili özet bilgiler de Tablo 3’de verilmiştir. Farklı büyüklüklerdeki kamu, uzay, telekomünikasyon, enerji, bilgi teknolojileri ve savunma sektörlerinde faaliyet gösteren 8 farklı kuruluştan 8 farklı proje bilgisi toplanmıştır. Çalışma sırasında projelerle ilgili analizlerde proje büyüklüklerini nesnel olarak kıyaslayabilmek için projelerin fonksiyonel büyüklüğünün kullanılması düşünülmüş ancak projelerin çoğunluğundan bu bilgi alınamamıştır. Büyüklük için kullanılacak bir diğer ölçü

olarak proje bütçesi düşünülmüş, ancak üç proje için toplam proje bütçesi hesaplanmadığından projeleri birbirleriyle kıyaslarken tüm projeler için de elimizde veri olarak bulunan proje süresi kullanılmıştır. Harcanan işgücünü doğrudan yansıtmadığı için proje süresinin karşılaştırma amaçlı kullanılması bu araştırmanın iyileştirilmesi gereken noktalarından birisidir, tamamlanmadıkları için toplam bütçe bilgilerine ulaşamayan projeler tamamlandıklarında, araştırma elde edilen yeni veriler ışığında güncellenebilir.

**Tablo 2 - Verilerin toplandığı kurumlara ait özet bilgi**

Grup	Sektör	Çalışan Sayısı	Ana İş Alanı
1	Kamu	200	Yazılım
2	Uzay	250	Donanım
3	Telekomünikasyon	100	Telekomünikasyon altyapısı
4	Enerji	300	Enerji perakende satışı
5	BT	70	Yazılım
6	Savunma	500	Yazılım
7	Telekomünikasyon	18.000	Telekomünikasyon altyapısı
8	BT	170	Online güvenlik

**Tablo 3 - Projelerle ilgili bilgiler**

Grup	Tür	Proje süresi (Ay)	Proje bütçesi	Proje ekibi (kişi)	Geliştirme yaşam döngüsü
1	Ağ temelli uygulama	12	Ulaşılamadı	15	Çevik
2	Uydu	60	84.961 TL	182	Çağlayan
3	Gerçek zamanlı	24	Ulaşılamadı	4	Çevik
4	Veri göçü ve uygulaması	9	885.000 TL	95	Çağlayan
5	Test	4	120.000 TL	7	Çağlayan
6	Gerçek zamanlı	12	1.250.000 TL	12	Çağlayan
7	Konfigürasyon yönetimi	6	95.272 TL	15	Çağlayan
8	Gerçek zamanlı	42	Ulaşılamadı	28	Çevik

Tablo 4’de projelere ait kalite maliyeti verileri görülebilir. Bu tabloda verilen maliyetler hesaplanırken Türk Lirası olarak iletilen veriler olduğu gibi kullanılmış, kişi-gün ya da kişi-ay olarak iletilen veriler ise Türk Lirası’na çevrilmiştir. Çevirme işlemi; 1 kişi-ay 20 kişi gün, 1 kişi-gün ise 8 kişi-saat olarak alınmış, bulunan değerler Türkiye’deki yazılım mühendisi maaşlarının ortalaması olan aylık 3682 USD [18] ile çarpılmıştır. Elde edilen değerler 2,5 TL/USD ile çarpılmış ve TL değerler olarak eklenmiştir.



Farklı kurumlara ait farklı büyüklükteki projelere ait kalite maliyeti verileri ile ilgili yorum yapabilmek için Tablo 5’de bulunan oransal dağılımları kullanmak daha anlaşılır olacaktır. Tablo 5’de ayrıca Tablo 4’den farklı olarak kalite maliyeti kalemleri uyum ve uyumsuzluk maliyetleri olarak ikiye ayrılmıştır, bu dağılım Tablo 6’da ayrıca sadeleştirilerek verilmiştir. Uyum maliyetleri yazılımda oluşabilecek hataların oluşmadan önce tespit edilmesini ve böylece oluşabilecek daha yüksek maliyetleri azaltmayı hedefleyen çalışmaları içerir, önleme ve değerlendirme maliyetleri uyum maliyetlerini oluşturur. Uyumsuzluk maliyetleri ise uyum maliyetleri kapsamına giren çalışmalarla tespit edilememiş ve daha sonra iç veya dış hata olarak karşılaşılmış hataları düzeltme maliyetlerini içerir. Teorik olarak uyum maliyetleri kapsamındaki aktivitelere harcanacak işgücü ve maliyet hataları oluşmadan önleyeceği için hata maliyetlerini azaltacaktır. Aynı hatanın yazılım geliştirme çalışmalarının ilk aşamalarında tespit edilerek ortadan kaldırılması, ilerleyen aşamalarda ortadan kaldırılmasına göre çok daha düşük maliyet yaratacağı da bilinmektedir.

**Tablo 4 - Proje kalite maliyetleri**

Gr.	Proje süresi (Ay)	Proje bütçesi	Önleme maliyeti	Değerlendirme maliyeti	İç hata maliyeti	Dış hata maliyeti	Toplam kalite maliyeti
1	12	Ulaşılamadı	18.134 TL	303.831 TL	33.634 TL	460.899 TL	816.497 TL
2	60	84.961 TL	15.936 TL	23.620 TL	4.951 TL	0 TL	44.506 TL
3	24	Ulaşılamadı	55.230 TL	23.013 TL	0 TL	55.345 TL	133.588 TL
4	9	885.000 TL	23.940 TL	51.205 TL	278.654 TL	0 TL	353.799 TL
5	4	120.000 TL	3.952 TL	2.025 TL	199.293 TL	21.600 TL	226.869 TL
6	12	1.250.000 TL	41.423 TL	225.523 TL	89.289 TL	23.933 TL	380.167 TL
7	6	95.272 TL	13.808 TL	32.218 TL	17.490 TL	5.523 TL	69.038 TL
8	42	Ulaşılamadı	75.711 TL	114.188 TL	424.811 TL	123.669 TL	738.379 TL

**Tablo 5 - Kalite maliyetlerinin oransal dağılımı**

Grup	Uyum maliyetleri		Uyumsuzluk maliyetleri		Toplam kalite maliyeti (%)
	Önleme maliyeti (%)	Değerlendirme maliyeti (%)	İç hata maliyeti (%)	Dış hata maliyeti (%)	
1	2,22	37,21	4,12	56,45	100,00
2	35,81	53,07	11,12	0,00	100,00
3	41,34	17,23	0,00	41,43	100,00
4	6,77	14,47	78,76	0,00	100,00
5	1,74	0,89	87,84	9,52	100,00
6	10,90	59,32	23,49	6,30	100,00

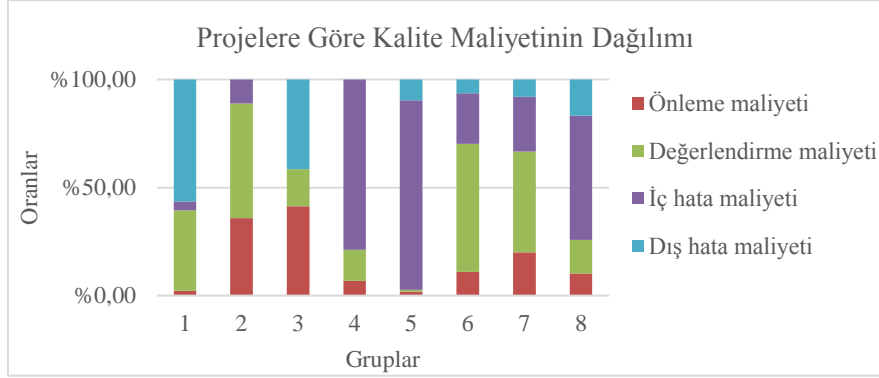
7	20,00	46,67	25,33	8,00	100,00
8	10,25	15,46	57,53	16,75	100,00

**Tablo 6 - Uyum ve uyumsuzluk maliyetlerinin dağılımı**

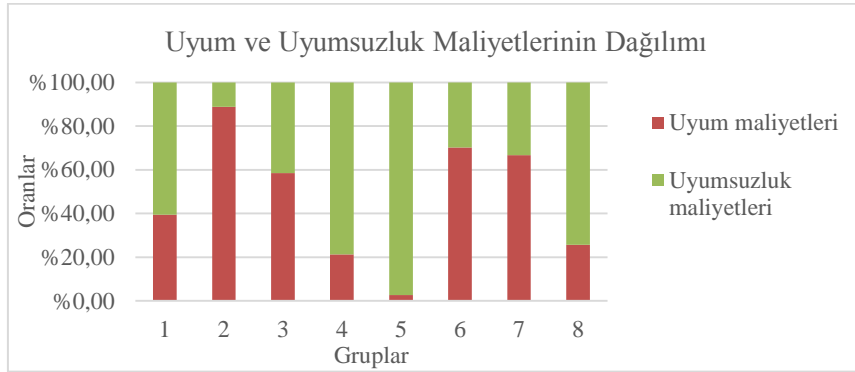
Grup	Uyum maliyetleri (%)	Uyumsuzluk maliyetleri (%)	Toplam kalite maliyeti (%)	Toplam Kalite Maliyetinin Toplam Proje Bütçesine Oranı (%)
1	39,43	60,57	100,00	-
2	88,88	11,12	100,00	52,38
3	58,57	41,43	100,00	-
4	21,24	78,76	100,00	39,98
5	2,63	97,37	100,00	189,06
6	70,22	29,78	100,00	30,41
7	66,67	33,33	100,00	72,46
8	25,72	74,28	100,00	-

Uyum ve uyumsuzluk maliyetlerinin oranları incelendiğinde, yaklaşık %60-%40 oranlarında ayrılan 1. ve 3. grup haricinde oranların birbirine yaklaşmadığı gözlenmektedir. Uyum maliyetlerine dahil olan aktivitelere yeterince önem veren organizasyonlarda uyumsuzluk maliyetlerinin düşürülebileceği çıkarımı bu verilerle desteklenmektedir.

Şekil 4 ve Şekil 5’de dağılımlar grafiksel olarak da incelenebilir. Veriler içerisinde iki uç örnek olarak göze çarpan 2. ve 5. projelerin detaylarına baktığımızda; 2. proje toplam bütçesi 84.961 TL’ olan, 60 aylık bir projedir ve toplam kalite maliyeti proje bütçesinin %52’si kadardır. 5. proje ise 120.000 TL bütçeli 4 aylık bir projedir ve toplam kalite maliyeti proje bütçesinin 2 katından fazla olmuştur. 2. projenin kalite maliyetlerinin %90’a yakını uyum maliyetlerine harcanmış, yaklaşık %10’luk bir uyumsuzluk maliyeti oranı ile toplam 44.000 TL kalite maliyeti olmuştur. 5. projede ise proje bütçesi 120.000 TL iken hata maliyetleri toplamı 200.000 TL’nin üzerindedir. Bu hata maliyetlerinin sadece %2,6’sı uyum maliyeti, çok büyük çoğunluğu uyumsuzluk maliyetidir. Benzer şekilde diğer projelerin detayları da incelendiğinde uyum maliyetleri uyumsuzluk maliyetlerine göre yüksek olan projelerde, proje büyüklerine göre kıyaslandığında, uyum maliyetleri daha düşük olan projelere göre daha düşük toplam kalite maliyeti oluştuğu görülecektir.



Şekil 4 - Projelere göre kalite maliyetlerinin oransal dağılımı



Şekil 5 - Uyum ve uyumsuzluk maliyetlerinin dağılımı

Toplanan kalite maliyeti verileri projelerin ait olduğu sektörler göre incelendiğinde; uyum maliyeti oranları en yüksek projeler olan 2., 3., 6., ve 7. projelerin uzay, telekomünikasyon ve savunma sektörlerine ait projeler olduklarını görüyoruz. Kritik öneme sahip ürünler üreten bu sektörlerde üretilen ürünler, sonradan ortaya çıkabilecek hatalara karşı çok daha duyarlıdır. Bu duyarlılık, ilgili sektörlerin, yazılım geliştirme süreçlerini hataları oluşmadan önleyebilecek şekilde oluşturmaya itmiş olabilir.

Öğrencilerden kalite maliyetlerinin yanı sıra, bulgularla ilgili yorumları ve ulaştıkları olası iyileştirme önerilerini de iletmeleri istendi. Tüm projeler için olmasa da çoğu projede öğrencilerin sorunları doğru gözlemlediği ve iyileştirmeye yönelik faydalı çıkarımlara ulaştıkları görüldü. Bu bulgular yorumlanırken, öğrencilerin bu çıkarımları diğer projelerden haberdar olmadan sadece kendi projelerinde ulaştıkları bilgilerle yaptıkları göz önünde bulundurulmalıdır.

Çalışma içerisinde birbirleri ile karşılaştığımız 2. ve 5. Projelerle ilgili gelen yorumlar incelendiğinde:

2. projenin bir uydu projesi olduğu, bu nedenle dış hataya yer olmadığı, bunun sağlanması için de uyum maliyetlerine dahil olan önleyici aktivitelere oldukça önem verildiği belirtilmiştir. İyileştirme önerisi olarak da, kuruluş içerisinde kalite maliyetlerinin daha da aşağı çekilebilmesi için süreç iyileştirme çalışmaları yapılması önerilmiştir.

5. projede ise bizim yorumlarımızla da paralel olarak, proje içerisinde gözden geçirme ve denetleme çalışmalarına zaman kısıtları nedeniyle yeteri önem verilemediği, bunun sonucunda da hata maliyetlerinin arttığı yorumu yapılmış, iyileştirme amaçlı olarak gözden geçirme çalışmalarına daha çok kaynak aktarılması gerektiği önerilmiştir.

Öğrencilerden gelen diğer yorumlar da kalite maliyeti değerleri hesapladıklarında önleyici faaliyetler için kaynaklar arttırıldığında ya da süreçler düzenlendiğinde, kalite maliyetlerinin önemli ölçüde azalabileceği sonucuna ulaştıklarını göstermiştir.

Öğrencilerin çalışma sırasında karşılaştıkları zorluklar sorulduğunda, genel olarak kuruluşlarda doğru işgücü kayıtlarına ulaşmanın zorluğundan bahsedilmiştir. Efor kayıtlarını düzenli tutan organizasyonlarda bile istenen kırımlarda verileri çıkartmak için önemli bir çaba gerekmektedir. Kuruluşlarda kalite maliyeti konusunda bilinç arttıka, tutulan veriler de kalite maliyeti hesaplamalarını kolaylaştıracak şekilde iyileştirilebilir.

Analiz sonucunda öğrencilerin kuruluşlarındaki projeleri değerlendirmeleri sağlanmış, toplanan verilerin literatürde verilen sonuçları desteklediği görülmüştür. Bu analizle sadece literatürdeki bilgilerin doğruluğundan emin olunmakla kalınmamış; dersleri alan öğrencilerin gerçek projelerle uygulama yapması ve önleyici kalite aktivitelerinin önemini birinci elden görmeleri de sağlanmıştir.

Gelecek bölümde analiz sonuçları detaylı olarak yorumlanacak, çalışmanın iyileştirmeye açık noktalarından ve ilerleyen dönemlerde çalışmaya nasıl edilebileceğinden bahsedilecektir.

## 5 Sonuç

Bu çalışmanın sonuçları üç temel çıktı ile özetlenebilir:

- Öğrencilerin organizasyonlarında yürüttükleri çalışma ile öğrendikleri teorik bilgileri gerçek ortamda uygulamaları ve çıktılarının faydalarını birinci elden öğrenmeleri sağlanmış,
- Türkiye’de faaliyet gösteren farklı sektörlere mensup kuruluşlardan kalite maliyetleri ile ilgili temel veriler toplanmış ve analiz edilmiş,
- Önleyici faaliyetlere yeterli kaynak ayrıldığı takdirde kalite maliyetlerinin azalabileceği gösterilmiştir.

Çalışmaya dahil edilen farklı sektörlerden toplam 8 proje, detaylı istatistiksel analizlerin yürütülmesi ve anlamlı sonuçlara ulaşılması için yeterli değerdir. Ancak, keşif niteliğindeki bir çalışmanın sonuçları olarak incelendiğinde, ulaşılan sonuçlar kalite maliyetlerinin önleyici faaliyetlere yeterli kaynak ayrılarak önemli ölçüde azaltılabileceğini göstermektedir. Kalite maliyetlerinin azalması organizasyonlar için

proje maliyetlerinin azalmasının yanı sıra; ürün kalitesinin, müşteri memnuniyetinin ve ilişkili olarak karlılığın artması anlamına gelmektedir.

Yürütülen çalışma Türkiye'deki farklı sektörlerdeki durumu sergilemeyi amaçlayan bir ön çalışma olarak görülebilir. İlerleyen zamanda çalışmanın farklı öğrenci grupları ile tekrarlanarak örnek setinin artırılması ve istatistiksel olarak anlamlı sonuçlara ulaşılması hedeflenmektedir.

**Teşekkürler.** Çalışmaya gerçek proje analizleri ile destek veren ODTU Enformatik Enstitüsü öğrencilerine teşekkür ederiz: Şifa Serdar Özen, Fatma Ferda Sönmez, Berkhan Deniz, Emra Aşkaroğlu, Dilruba Başak Aydın, Elif Yasemin Çetinkaya, Fatih Ünver, Alper İnce, Ayça Öner Yılmaz, İlkyaz Özer, Arda Kanaatkar, Beril Oğuz Taşdemir, Burcu Özsan, Burcu Ural, Mertcan Demir, Naim Türkoğan, Betül Ağaç, Ertuğrul Bolat, Nil Kural, Hazal Demiral.

## Kaynaklar

1. P. Mahmood and M. M. S. Beg, "Measuring Cost of Quality(CoQ)- on SDLC projects is indispensable for effective Software Quality Assurance," *Int. J. Soft Comput. Softw. Eng.*, vol. 2, pp. 1–15, 2012.
2. P. B. Crosby, *Quality is Free: The Art of Making Quality Certain*. McGraw-Hill, 1979.
3. C. Y. Laporte, M. Doucet, and E. Palza-vargas, "Measuring the Cost of Software Quality of a Large Software Project at Bombardier Transportation : A Case Study," *Softw. Qual. Manag.*, vol. 14, no. 3, 2012.
4. L. M. Karg, M. Grotke, and A. Beckhaus, "A systematic literature review of software quality cost research," *J. Syst. Softw.*, vol. 84, pp. 415–427, 2011.
5. A. Schiffauerova and V. Thomson, "A review of research on cost of quality models and best practices," *Int. J. Qual. Reliab. Manag.*, vol. 23, pp. 647–669, 2006.
6. C. Jones and O. Bonsignour, *The economics of software quality*. 2011.
7. A. Schiffauerova and V. Thomson, "Cost of Quality : A Survey of Models and Best Practices," *Time*, pp. 1–15, 1979.
8. D. J. Reifer and R. Consultants, "Industry Software Cost , Quality and Productivity Benchmarks," *Quality*, no. April, pp. 1–12, 2004.
9. T. Tan, "DOMAIN-BASED EFFORT DISTRIBUTION MODEL FOR SOFTWARE COST ESTIMATION," UNIVERSITY OF SOUTHERN CALIFORNIA, 2012.
10. "ISBSG Dataset Release 9." [Online]. Available: www.ISBSG.org.
11. Ü. Aksu and A. Karagöz, "Bir Süreç İyileştirme Programında Yazılım Kalite Maliyeti Kullanımı," in *UYMS*, 2011, pp. 245–251.
12. O. Kaynak and M. H. Canberi, "PROJE YAŞAM DÖNGÜSÜNÜN PROJE KALİTE MALİYETİNE ETKİSİ," in *UYMS*, 2009, pp. 239–242.
13. O. Demirors, O. Yıldız, and a. S. Guceglioglu, "Using cost of software quality for a process improvement initiative," *Proc. 26th Euromicro Conf. EUROMICRO 2000. Informatics Invent. Futur.*, vol. 2, pp. 286–291, 2000.
14. S. T. Knox, "Modeling the cost of software quality," *Digit. Tech. J.*, vol. 5, pp. 9–9, 1993.
15. Team, CMMI Product. CMMI for Development (CMMI-DEV, V1. 2). CMU/SEI-2006 TR-008, Software Engineering Institute, Carnegie Mellon University, 2006.

16. D. Houston, "Cost of Software Quality: Selling Software Process Improvement to Managers," *Softw. Qual. J.*, 1998.
17. J. T. Hagan, "Principles of quality costs: principles, implementation, and use," *Asq Pr*, 1990.
18. "Payscale." [Online]. Available: [http://www.payscale.com/research/TR/Job=Software\\_Engineer/Salary](http://www.payscale.com/research/TR/Job=Software_Engineer/Salary). [Accessed: 11-May-2015].