

YAPI GÜVENİRLİĞİ:

Belirsizlik Modellemesi, Olasılık, Rassal Süreçler ve Sismik Tehlike Analizi

M. SEMİH YÜCEMEN



**TMMOB
İNŞAAT MÜHENDİSLERİ ODASI
ANKARA ŞUBESİ**

ANKARA 2020

İTHAF

Yetişmemde özverili katkıları ve destekleri olan bir nesil öncesinin insanları annem ve babamın aziz hatıralarına ve beni unutmamaları için iki nesil sonrasının çocukları, torunlarım, Ela, Serra ve Kaan'a.

TMMOB

İnşaat Mühendisleri Odası

Ankara Şubesi

**YAPI GÜVENİRLİĞİ: Belirsizlik Modellemesi,
Olasılık, Rassel Süreçler ve Sismik Tehlike Analizi**

M. Semih Yüccemen

ISBN: 978-605-01-1356-3

İnşaat Mühendisleri Odası Ankara Şubesi

Necatibey Cad. No: 57 - Kat: 4-5

Kızılay Ankara

Tel: 312 294 30 66

Faks: 312 294 30 77

Oda Yayın No: İMO/20/03

Kapak Tasarım: Erkal Tülek

www.imoankara.org.tr

imoankara@imoankara.org.tr

Şubat 2020

İÇİNDEKİLER *i*

İTHAF *v*

ÖNSÖZ *vi*

KISALTMALAR *viii*

1. GİRİŞ *1*

- 1.1 Olasılık ve İstatistik Yöntemlerine Dayanan Yaklaşımların Önemi *1*
- 1.2 İnşaat Mühendisliği Bakış Açısından Belirsizlik, Tehlike, Kırılganlık, Risk ve Risk Yönetimi *2*
 - 1.2.1. Temel Kavramlar *2*
 - 1.2.2. Belirsizlikler ve Risk *3*
 - 1.2.3. Sayısal Risk Değerlendirmesi (SRD) *4*
 - Alıştırma Problemleri *7*

2. KÜMELER VE OLASILIK KURAMINA GİRİŞ *8*

- 2.1. Kümeler ve Alt Kümeler *8*
- 2.2. Küme İşlemleri *9*
- 2.3. Örnek Uzayı *10*
- 2.4. Örnek Noktaların Sayımı *11*
- 2.5. Olasılık *13*
- 2.6. Bazı Olasılık Kuralları *15*
- 2.7. Koşullu Olasılık *17*
- 2.8. Bayes' Kuralı *19*
 - Alıştırma Problemleri *23*

3. RASSAL DEĞİŞKENLER *26*

- 3.1. Rassal Değişken Kavramı *26*
- 3.2. Taneli Olasılık Dağılımı *27*
- 3.3. Sürekli Olasılık Dağılımı *28*
- 3.4. Birikimli Dağılım İşlevi *29*
- 3.5. Beklenen Değer *31*
- 3.6. Varyans ve Standart Sapma *33*
 - Alıştırma Problemleri *36*

4. BAZI ÖNEMLİ OLASILIK DAĞILIMLARI *39*

- 4.1. Normal Dağılım *39*
- 4.2. Normal Dağılım Eğrisi Altındaki Alanlar *40*
- 4.3. Logaritmik-Normal (Lognormal) Dağılım *43*
- 4.4. Binom Dağılımı *47*
- 4.5. Geometrik Dağılım *50*
- 4.6. Negatif Binom Dağılımı *50*
- 4.7. Poisson Dağılımı *51*
- 4.8. Üstel Dağılım *56*

- 4.9. Gamma Dağılımı 56
- 4.10. Diğer Dağılımlar 57
- Alıştırma Problemleri 59
- Çizelge 4.1 Standart Normal Dağılım Eğrisinin Altında 0 ile z_0 Değerleri Arasında Kalan Alanlar 63
- 5. YAPI GÜVENİRLİĞİ 64**
- 5.1. Giriş 64
- 5.2. Klasik Güvenirlik Modeli 65
- 5.3. Birinci-Mertebe İkinci-Moment (BMİM) Yöntemi 67
- 5.4. Geliştirilmiş Birinci-Mertebe İkinci Moment (GBMİM) Yöntemi 70
- 5.5. GBMİM Yöntemi İle Güvenirlik İndeksi β_{HL} 'in Hesabı 72
- 5.5.1. Bağımlı Temel Değişkenler Setinin Bağımsız Temel Değişkenler Setine Dönüştürülmesi 73
- 5.5.2. Normal Dağılıma Sahip Olmayan Temel Değişkenlerin Normal Dağılımlı Eşdeğer Temel Değişkenlere Dönüştürülmesi 74
- 5.6. Yükler 87
- 5.6.1. Sabit (Zati, Durağan) Yük (G) 87
- 5.6.2. Hareketli Yük (Q) 88
- 5.6.3. Rüzgar Hızı (V) ve Rüzgar Yükü (W) 89
- 5.6.4. Deprem Yükü 92
- 5.6.5. Yük Birleştirme Yöntemi 94
- 5.6.6. Ortalama Tekerrür Süresinin Belirlenmesi 98
- 5.7. Kabul Edilebilir Risk Düzeyi 99
- 5.8. Yük Ve Dayanım Katsayılarının Belirlenmesi 102
- Alıştırma Problemleri 106
- 6. YAPI SİSTEMLERİNİN GÜVENİRLİĞİ 110**
- 6.1. Giriş 110
- 6.2. Yapı Sisteminin Hasara Uğraması 110
- 6.3. Yapı Sisteminin Göçmesi 112
- 6.4. Elemanları Arasında Eşit Korelasyon Olmayan Paralel Sistemler 113
- 6.5. Uygulamalar 114
- Alıştırma Problemleri 119
- 7. RASSAL SÜREÇLER VE MEKANSAL KORELASYON 123**
- 7.1. Giriş 123
- 7.2. Güvenirlik Modelleri 124
- 7.2.1. Rassal Süreç Modeli 124
- 7.2.2. Çok Boyutlu Rassal İşlev (Rassal Alan/Random Field) Modeli 125
- 7.3. Rassal Ortam Modeli 126
- 7.3.1. Mekansal Ortalama Değer 126
- 7.3.2. Zemin Parametrelerinin Mekansal Ortalamalarına İlişkin Rassal Süreç Kuramı 126
- 7.4. Uygulamalar 129
- 7.5. Ayrıntılı Örnek Problem: Toprak Şevlerin Sismik Güvenirliği 134
- 7.5.1. Problemin Tanımı 134
- 7.5.2. Direnimsiz ve Deprem Etkisi İçin Olasılıksal Modeller 135

- 7.5.3. Toprak Şevin Göçme Olasılığı *136*
- 7.6. Değerlendirme *139*
Alıştırma Problemleri *140*
- 8. BELİRSİZLİKLERİN ANALİZİ *142***
- 8.1. Giriş *142*
- 8.2. Bilgilerin Birleştirilmesi *143*
- 8.2.1. En İyi Doğrusal Yansız Tahmin/EDYT (Best Linear Unbiased Estimation/BLUE) *143*
- 8.2.2. Bayes' Kuralı Çerçevesinde Bilgilerin Birleştirilmesi *146*
Alıştırma Problemleri *151*
- 9. UÇ DEĞER DAĞILIMLARI *154***
- 9.1. Giriş *154*
- 9.2. Uç Değerlerin Gerçek Dağılımı *154*
- 9.3. Uç Değerlerin Asimptotik Kuramı *155*
- 9.3.1. Birinci Tip Asimptotik Dağılım (Gumbel Dağılımı) *156*
- 9.3.2. İkinci Tip Asimptotik Dağılım (Frechét Dağılımı) *157*
- 9.3.3. Üçüncü Tip Asimptotik Dağılım (Weibull Dağılımı) *158*
- 9.4. Çözümlü Örnekler *159*
Alıştırma Problemleri *165*
- 10. MARKOV MODELİ *167***
- 10.1. Markov Süreci Ve Zinciri *167*
- 10.2. Çözümlü Örnekler *168*
Alıştırma Problemleri *173*
- 11. OLASILIKSAL SİSMİK TEHLİKE ANALİZİ *174***
- 11.1. Giriş *174*
- 11.2. Olasılıksal Sismik Tehlike Analizinin Başlıca Aşamaları *175*
- 11.3. Sismik Tehlike Analizi İçin İncelenecek Alanının Belirlenmesi *177*
- 11.4. Deprem Veri Tabanının Oluşturulması *178*
- 11.4.1. Deprem Veri Tabanının Tek Bir Magnitüd Ölçeğine Göre Oluşturulması *178*
- 11.4.2. Deprem Veri Tabanının İkincil Depremlerden Arındırılması *180*
- 11.4.3. Deprem Veri Tabanındaki Eksikliklerin (Yanlılığın) Giderilmesi *181*
- 11.5. Magnitüd - Tekerrür Modelleri ve Deprem Magnitüdü Olasılık Dağılımı *182*
- 11.5.1. Üstel Dağılım Modeli *182*
- 11.5.2. Karakteristik Deprem Modeli *184*
- 11.6. Depremlerin Zaman İçinde Oluşum Modelleri *185*
- 11.7. Depremlerin Mekansal Dağılımı *188*
- 11.8. Geri Plan Sismik Etkinlik Modelleri *189*
- 11.9. Yer Hareketi Tahmin Denklemi (Azalım İlişkisi) *190*
- 11.9.1. Boore, v.d. (1997) Tarafından Verilen Zemin Hareketi Tahmin Modeli *192*
- 11.9.2. Gülkan ve Kalkan (2004) Tarafından Verilen Zemin Hareketi Tahmin Modeli *192*
- 11.10. Belirsizliklerin Analizi *192*
- 11.10.1. Zemin Hareketi Tahmin Modelindeki Belirsizlik *195*

- 11.10.2. Sismik Kaynakların Coğrafi Konumundaki Belirsizlik 195
- 11.10.3. Sismik Kaynak Parametrelerinin Tahmin Edilen Değerlerindeki Belirsizlikler ve Mantık Ağacı Yöntemi 196
- 11.10.4. Mantık Ağacının Oluşturulmasında Göz Önünde Tutulabilecek Seçenekler 198
- 11.11. Sismik Tehlike Analizinde Yakın-Kaynak Doğrultu (Directivity) Etkisi 199
- 11.12. Sismik Tehlike Değerlerinin Ayrıştırılması (Deaggregation) 200
- 11.13. Sismik Tehlike Hesabı İçin Yazılımlar 201
- 11.14. Sismik Tehlike Analizi İçin Gerekli Aktif Fay Parametreleri 205
- 11.15. Çözümlü Örnekler 206
Alıştırma Problemleri 218

Ek 11.1 SİSMİK TEHLİKE DENKLEMLERİ 219

12. OLASILIKSAL TSUNAMİ TEHLİKE ANALİZİ 222

- 12.1. Giriş 222
- 12.2. Deprem Kaynaklı Tsunami Tehlikesinin Tahmini 223
 - 12.2.1. Girdi Verilerinin Derlenmesi 223
 - 12.2.2. En Yüksek Kıyı Dalgası Genliği (EYKDG) Tehlike Eğrisinin Hesabı için Olasılıksal Model 224
- 12.3. Ayrıntılı Örnek Uygulama 225
Alıştırma Problemleri 232

13. DEPREM SİGORTASI 233

- 13.1. Giriş 233
- 13.2. Yapılarda Deprem Hasarının Tahmini: Hasar Olasılık Matrisi 233
 - 13.2.1. Hasar Olasılık Matrisinin Tanımı 233
 - 13.2.2. Hasar Durumları 234
 - 13.2.3. Hasar Olasılık Matrislerinin Çıkartılması 234
- 13.3. Deprem Sigorta Primini Saptama Modeli 236
 - 13.3.1. Çıplak Deprem Sigortası Priminin Hesabı 236
 - 13.3.2. Ticari Deprem Sigortası Priminin Hesabı 236
- 13.4. Uygulama 237
Alıştırma Problemleri 240

GENİŞLETİLMİŞ KAYNAK LİSTESİ 242

Ek-1 PROF. C. ALLIN CORNELL (1938-2007) 257

Ek-2 FOTOĞRAFLAR 260

Ek-3 SÖZLÜK 262

DİZİN 267

YAZARLAR DİZİNİ 273

YAZAR HAKKINDA 278

SUNUŐ

“Yapıların gerek eleman bazında gerek de sistem olarak tasarımında veyahut güvenlik değerlendirmelerinde kullanımını dünya genelinde giderek artmış olan istatıksel ve olasılıksal yöntemleriyle irdeleyen ve bu yöntemlerin uygulama alanlarını çeşitli örnekler üzerinden anlatan kapsamlı bir başvuru kaynağının eksikliğini “Yapı Güvenirliği: Belirsizlik Modellemesi, Olasılık, Rassal Süreçler ve Sismik Tehlike Analizi” başlıklı eseri ile dolduran değerli hocamız Prof. Dr. Semih Yücemen’e en içten teşekkürlerimizi sunarız. Uzun yılların bilgi birikimi ve uygulama tecrübesi ile oluşturduğu bu kitabın, ilgili tüm meslektaşlarımız ve ayrıca inşaat mühendisliğinin lisans ve lisansüstü seviyedeki tüm öğrencileri ile öğretim elemanları için yararlı bir kaynak olacağını umuyoruz.”

Selim Tulumtaş
İnşaat Mühendisleri Odası Ankara Şubesi
Yönetim Kurulu Başkanı

ÖNSÖZ

Yapı elemanlarının tasarımında ve güvenliğinin değerlendirmesinde, dayanım ve yük parametrelerinin gösterdiği rassal değişkenliklerin (aleatorik belirsizlikler) ve bu parametrelerin değerlerinin tahminine yönelik modellerdeki hatalar ve verilerin yetersizliğinden kaynaklanan belirsizliklerin (epistemik belirsizlikler) dikkate alınması gereklidir. Ancak belirsizlikler ve bunların yapının güvenliğine etkileri, tutarlı ve gerçekçi bir şekilde, yalnızca istatistiksel ve olasılıksal yöntemler çerçevesinde incelenebilir. Bu gerçeğin bir sonucu olarak yıllardır bütün dünyada yapı güvenirliliği yöntemleri inşaat mühendisliğinde yaygın bir şekilde uygulanmakta ve bunların bir uzantısı olan yük ve dayanım katsayılarına dayanan tasarım kriterleri de birçok yapı yönetmeliklerinde yer almaktadır. Türkiye'deki inşaat mühendisliği camiası, özellikle yapı ve geoteknik dallarında, istatistiksel ve olasılıksal yöntemlerinin ve bu bağlamda yapı güvenirliliği prensiplerinin benimsenmesi konusunda çok geri kalmıştır. 1970'li yılların sonunda, Türkiye'de az sayıda bilim insanı tarafından uygulanan olasılıksal sismik tehlike analizi yöntemleri 30-40 yıllık bir rötarla ancak son on yıldır daha sık kullanılır olmuştur. Keza, belirsizlikleri sınıflandırmak için bütün dünyada yerleşmiş olan aleatorik ve epistemik belirsizlik terimleri de çok yakın bir zaman öncesinde literatürümüze girebilmiştir.

Dünyadaki gidişata ayak uydurmak ve inşaat mühendisliğinin doğasında mevcut olan belirsizliklerin yarattığı riski yönetebilmek için inşaat mühendisliği camiamız ve yeni yetişen inşaat mühendisliği öğrencilerimiz bu konulara uzak kalmamalı ve gereken önemi vermelidirler. Kitap bu amaca yönelik olarak hazırlanmıştır. İçeriğinin büyük bir kısmı yazarın 1975 yılından günümüze kadar başta Orta Doğu Teknik Üniversitesi Uygulamalı İstatistik, İstatistik ve İnşaat Mühendisliği Bölümleri ile Yarmouk Üniversitesi, Jordan University of Science and Technology, Doğu Akdeniz Üniversitesi ve Uluslararası Kıbrıs Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümlerinde lisansüstü düzeyde verdiği Yapı Güvenirliliği ve Belirsizlik ve Risk Analizi ders notlarına ve bu konularda Türkçe olarak yayımladığı çalışmalara dayanmaktadır. Türkçe yayınların önemli bir kısmı Eskişehir Osmangazi Üniversitesinde düzenlenen Yapı Mekaniği Seminerlerinde sunulan bildirilerdir (Yüccemen, 2001, 2002a, 2005a, 2014 ve Yüccemen ve Yılmaz, 2013). Kitabın yapılan bu tavsiyenin gerçekleşmesine katkıda bulunması beklenmektedir.

Risk analizi, karar ve yarar kuramları ve rassal süreçler konusunda ve bunların inşaat mühendisliği problemlerine uygulanmasına yönelik daha ileri düzeydeki kuram ve yöntemlerin, bu kitabın devamı niteliğindeki ikinci ciltte verilmesi planlanmaktadır. Bu ciltte bu konulara oldukça basit düzeyde değinilmiştir. Sismik tehlike analizi (Bölüm 11) için de bu husus geçerlidir. Kitabın son iki bölümünde, sismik tehlike analizinin son yıllarda önemli birer uygulama alanını oluşturan tsunami tehlike analizi ve deprem sigortası konuları anlatılarak, okuyucuların bu konulara da aşina olmaları amaçlanmıştır.

Araştırmacıların ve öğrencilerin inşaat mühendisliği problemlerini olasılık, belirsizlik, rassallık, risk gibi kavramların ağırlıklı olduğu bir bakış açısıyla değerlendirmelerinin yaratacağı avantajları da vurgulamak amacı ile kitapta çok sayıda uygulamaya yönelik çözümlü örneğe ve alıştırmaya problemlerine yer verilmiştir. Bu bakımdan ve içeriği açısından, İnşaat Mühendisliği lisans programının son sınıfında ve lisansüstü programda bu konuda verilecek dersler için uygun bir ders ve yararlı bir referans kitabı olacaktır.

Yapı güvenirliği ve modern deprem risk analizinin “babası” olarak anılan ve doktora sonrası araştırma yapmak üzere bulunduğum Massachusetts Institute of Technology’de derslerini dinleyici olarak takip etme Őansını bulduğum müteveffa Prof. Allin Cornell’in yaşamını ve katkılarını özetleyen kısa bir ek kitabın sonunda yer almaktadır.

Yapı güvenirliği konusuna ynelmeme n ayak olan ve bu konun öncülerinden ortak tez danışmanlarım Prof. Alfredo. H-S. Ang ve müteveffa Wilson Tang’i Őukranla anarım.

Kitabın baskıya hazırlanmasına emeği geçen İnaşaat Mühendisleri Odası Ankara Şubesi’nin ilgililerine teşekkür ederim.

Son olarak, akademik hayatım boyunca vaktimin büyük bölümünü evimden çok üniversitede çalışarak geçirmeme gösterdikleri anlayış ve manevi destekleri için başta eşim Jale olmak üzere kızlarım Ece ve Naz’a Őukranlarımı sunarım.

M. Semih Yücemen
Ankara; Ocak, 2020