T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNE ÖĞRENMESİNDE İSTATİSTİKSEL VERİLER KULLANILARAK MARUZİYETİN BELİRLENMESİ: SAKARYA ÖLÇEĞİNDE BİR ÇALIŞMA

YÜKSEK LİSANS

Muhammed Ali HAŞILOĞLU

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Bilim Dalı

TEMMUZ 2024

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNE ÖĞRENMESİNDE İSTATİSTİKSEL VERİLER KULLANILARAK MARUZİYETİN BELİRLENMESİ: SAKARYA ÖLÇEĞİNDE BİR ÇALIŞMA

YÜKSEK LİSANS

Muhammed Ali HAŞILOĞLU

İnşaat Mühendisliği

Yapı Bilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Naci ÇAĞLAR

TEMMUZ 2024

Muhammed Ali HAŞILOĞLU tarafından hazırlanan "Makine Öğrenmesinde İstatistik Veriler Kullanılarak Maruziyetin Belirlenmesi: Sakarya Ölçeğinde Bir Çalışma" adlı tez çalışması 17.07.2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yapı Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Jüri Başkanı :	**Prof. Dr. Naci ÇAĞLAR** (Danışman) Sakarya Üniversitesi	.....
Jüri Üyesi :	**Prof. Dr. Metin İPEK** Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi	.....
Jüri Üyesi :	**Dr. Öğr. Gör. Tuba TATAR** Sakarya Üniversitesi	.....

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Eğitim-Öğretim Yönetmeliğine ve Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesine uygun olarak hazırlamış olduğum "MAKİNE ÖĞRENMESİNDE İSTATİSTİKSEL VERİLER KULLANILARAK MARUZİYETİN BELİRLENMESİ: SAKARYA ÖLÇEĞİNDE BİR ÇALIŞMA" başlıklı tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın tüm aşamalarında yukarıda belirtilen yönetmelik ve yönergeye uygun davrandığımı, tezin içerdiği yenilik ve sonuçları başka bir yerden almadığımı, tezde kullandığım eserleri usulüne göre kaynak olarak gösterdiğimi, bu tezi başka bir bilim kuruluna akademik amaç ve unvan almak amacıyla vermediğimi ve 20.04.2016 tarihli Resmi Gazete'de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince Sakarya Üniversitesi'nin abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Enstitü tarafından belirlenmiş ölçütlere uygun rapor alındığını, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun ortaya çıkması halinde doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi beyan ederim.

(……/……/20…..).

(imza)

Muhammed Ali HAŞILOĞLU

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam ve yükseköğrenim sürecimde, değerli katkıları ve destekleriyle bana rehberlik eden Dr. Tuba TATAR'a en içten teşekkürlerimi sunarım. Kendisinin akademik bilgisi ve yol göstericiliği, bu çalışmanın tamamlanmasında büyük rol oynamıştır.

Ayrıca, çalışmam için gerekli verileri sağlayarak uygulamamı gerçekleştirmeme olanak tanıyan Sakarya Büyükşehir Belediyesi'ne ve Türkiye İstatistik Kurumu'na da teşekkür ederim. Sakarya Büyükşehir Belediyesi'nin sağladığı veriler ve teknik destek, araştırmamın uygulama aşamasında önemli bir yer tutmuştur. Türkiye İstatistik Kurumu'nun sunduğu istatistiki veriler ise, analizlerimin doğruluğunu ve güvenilirliğini sağlamıştır.

Bu değerli kurumların ve kişilerin katkıları olmasaydı, bu çalışmanın gerçekleştirilmesi mümkün olmazdı. Destekleri için hepsine minnettarım.

Muhammed Ali HAŞILOĞLU

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ v
TEŞEKKÜR vii
İÇİNDEKİLER ix
KISALTMALAR xi
TABLO LİSTESİ xiii
ŞEKİL LİSTESİ xv
ÖZET xvii
SUMMARY xxi
1. GİRİŞ 1
1.1. Tezin Kapsamı 2
1.2. Literatür Araştırması 3
2. BİNA STOĞU İLE İLGİLİ VERİSETLERİ 7
2.1. SBB Kapsamında Toplanan Bina Envanter Veri seti 7
2.2. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) Yapı İzin İstatistikleri ve Konut Nitelik Araştırmaları 18
2.3. Çevresel Bilgi Koordinasyonu (CORINE) Veri Seti 25
2.4. OpenStreetMap (OSM) Veri Seti 27
2.5. Avrupa Maruziyet Modeli (ESRM20) 28
2.6. Küresel Maruziyet Modeli (GEM-EM) 31
3. YAPI MARUZİYETİNİN ÇIKARILMASI İÇİN METODOLOJİ 37
3.1. Bina Sınıf Atamaları ve Veri Setinin Tamamlanması 37
3.2. Bina Stoğundaki Yapıların Mekânsal Dağılımları 43
3.3. Makine Öğrenmesi Modelleri 44
4. SONUÇLAR 47
KAYNAKLAR 57
ÖZGEÇMİŞ 63

KISALTMALAR

ABYYHY : Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik
AÇA : Avrupa Çevre Ajansı
ADNKS : Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi
AFAD : Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı
BKNA : Bina Nitelik ve Konut Araştırması
CORINE : Çevresel Bilgi Koordinasyonu
DASK : Doğal Afet Sigortaları Kurumu
ESRM20 : Avrupa Sismik Risk Modeli
GEM : Global Deprem Modelleme
İTS : İnşaat Tipleri Sınıfı
KNN : K-En Yakın Komşu Algoritması
OSM : Açık Sokak Haritaları
ROSE : Rastgele Aşırı Örnekleme
SBB : Sakarya Büyükşehir Belediyesi
SERA : Avrupa Sismoloji ve Deprem Mühendisliği Araştırmaları
TBDY : Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği
TÜİK : Türkiye İstatistik Kurumu

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 3.1. Veri setlerindeki ortak özellikler..... 38
Tablo 3.2. Kategorik değişkenler için atanan sınıflar..... 39

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1. Mahalle düzeyinde bina sayısı ve nüfus arasındaki ilişki. 8
Şekil 2.2. Merkez ilçeler ve kentsel yüzeyleri. 8
Şekil 2.3. İlçe düzeyinde serbest kat sayısı dağılımı. 9
Şekil 2.4. İlçe düzeyinde bağımsız bölüm dağılımı. 9
Şekil 2.5. İlçe düzeyinde yapıda yaşayanların dağılımı. 10
Şekil 2.6. Bina kullanım türünün ilçelere göre logaritmik tabanda dağılımı. 10
Şekil 2.7. Taşıyıcı sistem türünün ilçelere göre dağılımı. 12
Şekil 2.8. Yığma bina türleri (6306 Ek-2). 12
Şekil 2.9. Yığma sistemlerde kullanılan taşıyıcı duvar türleri. 12
Şekil 2.10. Yığma sistemlere özel olarak toplanmış diğer özellikler. 14
Şekil 2.11. Yığma yapılarda cephe ve boşluk genişlikleri. 14
Şekil 2.12. Betonarme binalardaki düzensizlik dağılımları. 15
Şekil 2.13. Tüm taşıyıcı sistemler için düzensizlik dağılımı. 16
Şekil 2.14. Tüm taşıyıcı sistemler için diğer önemli özellikler. 17
Şekil 2.15. Taşıyıcı sistem türüne göre binaların ruhsat tarihleri. 18
Şekil 2.16. Yapı izin verilerine göre Sakarya merkez ilçeleri için bina dağılımı. 19
Şekil 2.17. 1992-2023 İzin istatistiklerine göre kat sayısı dağılımları. 19
Şekil 2.18. 1992-2023 İzin istatistiklerine göre bağımsız bölüm sayısı. 20
Şekil 2.19. 2008-2023 Bina sayısı ve nüfus artışı arasındaki ilişki. 21
Şekil 2.20. 1992-2023 Yapı izinlerine göre kullanım türleri. 21
Şekil 2.21. 1992-2023 Yapı izinlerine göre yapısal sistem türleri. 22
Şekil 2.22. Yığma sisteme sahip binaların yıllık dağılımları. 22
Şekil 2.23. 1992-2023 arası inşa edilmiş binalardaki dolgu duvar türleri. 23
Şekil 2.24. Yapı izin istatistiklerine göre yapı inşa yılı dağılımı. 23
Şekil 2.25. BKNA'ya göre Sakarya ilindeki hane halkının dağılımları. 25
Şekil 2.26. SBB verilerine göre hane halkının kat sayısına göre dağılımı. 25
Şekil 2.27. Sakarya sınırları içerisindeki CORINE yapay arazi örtüleri. 26
Şekil 2.28. Serdivan ilçesi içerisindeki süreksiz kentsel bölgeler. 26
Şekil 2.29. OSM Sakarya merkez ilçerlerdeki bina dağılımları. 27
Şekil 2.30. OSM'e verisine göre bina kullanım türlerindeki dağılım. 28
Şekil 2.31. ESRM20 Maruziyet modeli. 28
Şekil 2.32. ESRM20 Sakarya ilindeki binaların kullanım türü dağılımları. 29
Şekil 2.33. ESRM20 Sakarya ilindeki binaların taşıyıcı malzeme türü. 30
Şekil 2.34. Binalara atanan yönetmelik sınıfları. 31
Şekil 2.35. Binalardaki kat adeti dağılımı. 31
Şekil 2.36. GEM-EM maruziyet modeli. 32
Şekil 2.37. GEM-EM'e göre binaların kullanım türü dağılımı. 32
Şekil 2.38. Taşıyıcı malzeme türündeki dağılım. 33
Şekil 2.39. GEM-EM'e göre Sakarya ilindeki yönetmelik dağılımı. 34
Şekil 2.40. Süneklilik durumlarına göre bina dağılımları. 35
Şekil 2.41. GEM-EM Sakarya ili içerisindeki binaların kat adeti dağılımı. 35

Şekil 3.1. Maruziyet modelinin oluşturulması için akış diyagramı. 37
Şekil 3.2. KNN ile eksik değerlerin tamamlanması. 39
Şekil 3.3. SBB ve yapı izin istatistikleriyle birleştirilmiş inşa yılı dağılımı. 41
Şekil 3.4. Sakarya ili inşa yılı dağılımı. 41
Şekil 3.5. Türkiye bina inşa yılı dağılımı. 42
Şekil 3.6. Serdivan ilçesi sınırında bina dağılımları. 43
Şekil 4.1. Maruziyet modelinde malzeme türünün inşa yıllarına göre dağılımı. 47
Şekil 4.2. Yığma binalarda kullanılan dolgu malzeme türü. 48
Şekil 4.3. Taşıyıcı sistem türünün yıllara göre dağılımı. 49
Şekil 4.4. Kat sayılarının yıllara göre dağılımları. 49
Şekil 4.5. Kullanım amacının yıllara göre dağılımı. 50
Şekil 4.6. Daire sayısı, doluluk oranı ve yüzölçümü dağılımları. 51
Şekil 4.7. Planda düzensizlik etiketi için model karışıklık matrisi. 51
Şekil 4.8. Tüm veri setindeki plan düzensizliklerinin tahminleri. 52
Şekil 4.9. Yumuşak kat düzensizlik etiketi için model karışıklık matrisi. 52
Şekil 4.10. Tüm veri setindeki yumuşak kat düzensizliğinin tahminleri. 53
Şekil 4.11. Yapı nizam etiketi için model karışıklık matrisi. 53
Şekil 4.12. Tüm veri setindeki binaların nizam durumu tahmini. 54
Şekil 4.13. Türkiye ilçe düzeyinde maruziyet modeli. 54

MAKİNE ÖĞRENİMİNDE İSTATİSTİKSEL VERİLER KULLANILARAK MARUZİYETİN BELİRLENMESİ: SAKARYA ÖLÇEĞİNDE BİR ÇALIŞMA

ÖZET

Afet yönetimi döngüsünde, afet öncesi acil müdahale ve yardım hazırlıklarının tamamlanması ve finansal yönden yatırım yapılması insani ve maddi kayıp yaşanmasını minimize etmek için oldukça önemlidir. Bu nedenle afet döngüsünün ilk fazı olan hazırlık fazının etkin bir şekilde tamamlanması için afet öncesi dönemde olası kayıp analizlerinin yapılmasına ve bu doğrultuda önlemler alınmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Kayıp analizleri için yapılan çalışmalar üç temel bileşen üzerine kurulur bunlar; tehlike, maruziyet ve kırılganlık bileşenleridir. Kayıp bileşenleri arasında en fazla zamana ve insan gücüne ihtiyaç duyulan aşama, tehlikeye maruz kalacak değerlerin karakterizasyonun yapılıp mekânsal dağılımlarının belirlenmesi olarak tanımlan maruziyetin belirlenmesi aşamasıdır. Mevcut maruziyet modellerinin barındırdığı en büyük belirsizliklerden biri veri eksikliği nedeniyle mekânsal dağılım için kullanılan çözünürlüğün kaba olmasıdır. Bir diğer bilgi yetersizliğinden kaynaklanan belirsizlik ise veri setlerindeki bina fiziksel özelliklerin eksikliğidir. Ulusal düzeyde oluşturulacak maruziyet modelleri için ilk başvurulan veri kaynağı ülkenin merkezi istatistik bürosu tarafından toplanan yapı izin istatistikleri ve nüfus sayımları içinde toplanan ek bilgilerdir. Ancak veriler her ulus için yeterli sayıda veya detayda bilgi içermeyebilir. Bunun için modellerin çözünürlüklerinde ve bilgi seviyelerinde belirsizlikler oluşmakta ve ek bilgilere ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu tez kapsamında ise çeşitli veri setleri, istatistiksel özetler, uzman görüşleri, istatistiksel dağılımlar ve makine öğrenmesi algoritmaları kullanılarak tüm Türkiye için genelleştirilmiş bir bina maruziyet modeli oluşturulmuştur. Geliştirilen bina maruziyet modeli üç ana veri setine dayanmaktadır. İlk veri seti Sakarya Büyük Şehir Belediyesi (SBB) ve Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) tarafından yürütülen, kentsel dönüşüm çalışmalarında kullanılması için Sakarya il sınırları içerisinde bulunan bina başına fiziksel özellikler, kullanım amacı, doluluk durumları ile ilgili bilgiler içermektedir. Bu veri setinde binaların sismik tehlikelere karşı kırılganlıklarında önemli bir faktör olan planda düzensizlik, yumuşak kat düzensizliği ve yapı nizamı gibi makine öğrenmesinde etiket olarak kullanılabilecek özellikler de bulunmaktadır. Bu özellikler dışında kat sayısı, bağımsız bölüm sayısı, taşıyıcı sistem türleri, yığma binalar için dolgu duvar türleri ve ruhsat tarihi gibi önemli özellikler de bulunmaktadır. İkinci ana veri olarak ise Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) tarafından toplanmış Türkiye sınırları içerisinde bulunan ilçelere ait 1992-2023 arasında inşa edilen binaların izin istatistikleri bulunmaktadır. Bu veri setinde Avrupa Birliği tarafından ortak standartlıların oluşturulması için önerilen bina sınıflandırması kullanılmış ve özellikler bu sınıflarda toplanılmıştır. İzin istatistiklerinde SBB'ye benzer bir şekilde binaların kullanım amaçları, yapısal sınıfları, kat adeti, daire sayısı gibi fiziksel özellikler bulunmaktadır. SBB verisinden farklı olarak daha özet niteliğinde bina fiziksel özelliklerini tüm Türkiye genelinde sunmaktadır. Son olarak kullanılan ana veri ise Avrupa Çevre Ajansı ile yürütülen Türkiye'nin de içinde üye

ülke olarak bulunduğu, uydu görüntüleri ile arazi örtülerinin belirlendiği CORİNE 2018 yapay alan örtüsüdür. Bu veri setinde ilçe düzeyinde yerleşim alanlarının poligonları bulunmaktadır. Tez kapsamında ilk iki veri seti bina karakterizasyonu için, üçüncü veri seti ise binaların uzaysal dağılımı için kullanılmıştır. SBB veri seti her ne kadar detaylı özellik uzayına sahip olsa da hem veri seti içerisinde boş hücrelerinin bulunması hem de sadece belli bir bölgeye ait stok bilgisini içerdiği için kullanılmadan önce belirli istatistiksel işlemler ve dönüşümler gerçekleştirilmiştir. TÜİK veri seti ise SBB verisinin detay seviyesinden yoksun olmasına rağmen SBB verisine nazaran temsil ettiği zaman aralığında tüm ilçelerdeki bina özelliklerini içermektedir. TÜİK veri setindeki en büyük eksiklik binalardaki doluluk oranları ile 1992 öncesi inşa edilmiş bina bilgisinden tamamen yoksun olmasıdır.

Tez kapsamında bu iki veri seti birbirinin eksikliklerini kapatacak şekilde ortak bir bina karakterizasyon taksonomisi kullanılarak birleştirilmiş ve eksik bilgiler bu tam veri içerisinde istatistiksel yöntem ve dağılımlar ile tamamlanmıştır. Eksik veriler için K-en yakın komşu algoritması (KNN) ve inşa yıl dağılımları için ise beta dağılımları kullanıldı. İller için tam bina sayılıları Doğal Afet Sigortaları Kurumu (DASK) tarafından yayımlanan interaktif deprem haritası üzerindeki veriler kullanıldı. Yapı izin verisindeki inşa yılı 1992 öncesi eksik binalar, SBB verisindeki 1992 öncesi bina özellik dağılımları ve yapı izin verisi içerisindeki 1992-1999 inşa yıllarına sahip binalar ile tamamlandı. TÜİK verisi içerisinde bir binada yaşayan sayısını bulmak için yine TÜİK'te paylaşılan ilçe düzeyinde Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi (ADNKS) sonuçları kullanıldı. İlçe nüfusları, daire oranlarına göre ve TÜİK tarafından yayımlanan Bina Nitelik ve Konut Araştırması (BKNA) özet istatistiklerindeki inşa yılına göre hane halkı oranları kullanılarak elde edildi. Son olarak her bina için yeniden inşa maliyetleri Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından Resmî Gazete üzerinde yayınlanmış mimarlık ve mühendislik hizmet bedelleri hesabında kullanılacak yapı yaklaşık birim maliyetleri kullanılarak her binanın kullanım türü ve yüzölçümleri ile hesaplandı. Türkiye için oluşturulan bu tam veri setinde 11,409,354 bina hesaplandı ve bu binaların yeniden inşası için 2.5 Trilyon $ yeniden inşa maliyeti elde edilmiştir.

Maruziyet modellerindeki bina kırılganlıklarının daha hassas elde edilebilmesi için mevcut verilerdeki kırılganlığa etki edebilecek özelliklerin kullanılması gerekmektedir. Tez kapsamında ise SBB verisinde bulunan fakat TÜİK verisi içerisinde bulunmayan üç adet bina düzensizliklerinin tahminini gerçekleştiren makine öğrenmesi modelleri eğitilmiştir. Algoritma olarak Random Forest Classification kullanılmış, tahmin etiketleri için SBB verisi içerisindeki "Planda Düzensizlik", "Yumuşak Kat" ve "Yapı Nizamı" özellikleri kullanılmıştır. SBB verisi içinde doğrulaması gerçekleştirilen modellerin doğruluk oranları Planda Düzensizlik etiketi için %80.36, Yumuşak Kat Etiketi için %85.73 ve Yapı Nizamı için ise %71.93 olarak elde edilmiştir. Daha sonra bu modeller ile tüm veri üzerinde tahmin sonuçları elde edilip maruziyet modeli içine eklenmiştir.

Son olarak oluşturulan veri setinin bölgesel dağılımları için binanın bulunduğu ilçe koordinatları elde edilmiştir. Literatürde maruziyet modellerinin mekânsal dağılımların model belirsizliği üzerindeki büyük bir etkisi olduğu kanıtlanmıştır. Bu nedenle ilçelerde bulunan tüm binaları tek bir nokta üzerinde temsil edilmesi modelin belirsizliğini artıracağı için uygun yöntemlerle binaların bölgesel dağılımları yapılmıştır. Bu tez kapsamında binaların mekânsal dağılımları için CORINE veri seti üzerinde tanımlanmış yapay alan örtüleri kullanılmıştır. İlçe koordinatlarına en yakın

yapay örtüler hesaplanıp bu örtü üzerine binalar homojen olarak dağıtılmıştır. Son olarak tüm veri Türkiye haritası üzerine dağılımlarıyla birlikte eklenmiştir.

DETERMINATION OF EXPOSURE USING STATISTICAL DATA IN MACHINE LEARNING: A CASE STUDY IN SAKARYA

SUMMARY

In the disaster management cycle, completing pre disaster emergency response and aid preparations and making financial investments are especially important to minimize human and monetary losses. For this reason, to effectively complete the preparation phase, which is the first phase of the disaster cycle, it is necessary to analyse losses in the pre-disaster period and take precautions accordingly. Studies conducted for loss analysis are based on three basic components: hazard, exposure, and vulnerability components. Among the loss components, the phase that requires the most time and workforce is the creation of the exposure model, which is defined as the characterization of the values that will be exposed to hazards and the determination of their spatial distribution. One of the biggest uncertainties in current exposure model is that the smallest resolution used for spatial distribution is at the provincial level due to lack of data. Another deficiency is the insufficient of building stock information in the data sets used. The first source of data used for exposure models to be created at the national level is building permit statistics collected by the country's central statistics office and additional information collected population censuses. However, the data may not contain sufficient quantity or detail information for every nation. For this reason, uncertainties occur in the resolutions and information level of the models and additional information is needed. Within the scope of this thesis, a generalized building exposure model for all of Türkiye was created using various data sets, statistical summaries, expert opinions, statistical distributions and machine learning algorithms.

The developed building exposure model is based on three main data sets. The first data set contains information about the physical characteristics, purpose of use, and occupancy status of each building within the borders of Sakarya province for use in urban renewal studies conducted by Sakarya Metropolitan Municipality (SBB) and Disaster and Emergency management Presidency (AFAD). This data set also includes features that can be used as labels in machine learning, such as plan irregularity, soft floor irregularity and building order, which are key factors in the vulnerability of building to seismic hazards. Apart from this feature, there are also important features such as the number of floors independent sections, load-bearing system types, infill wall types for masonry buildings and license date. As the second main data, there are permit statistics of buildings constructed between 1992 and 2023 in the districts within the borders of Türkiye, collected by the Turkish Statistical Institute (TUIK). In this data set, the building classification recommended by European Union the create common standards was used and the features are presented collected in these classes. Similar to SBB, permit statistics include physical characteristics such as the intended use of buildings, structural classes, number of floors, and number of flats. Unlike SBB data, it contains more summary building physical characteristics throughout Türkiye. Finally, the third main data used is the CORINE 2018 artificial land cover, which is carried out with the European Environment Agency and determines the land covers of

the member countries, including Türkiye, using satellite images. This data set contains polygons of residential areas at the district level. Within the scope of the thesis, the first two data sets were used for building characterization and the third data set was used for the spatial distribution of buildings. Although the SBB data set has a detailed feature space, certain statistical operations and transformations were carried out before use, as there are empty cells in the data set, and it only contains stock information for a certain region. The TUIK data set on the other hand, lacks the detail level of SBB data, but compared to SBB data, it includes building features in all districts within the period it represents. The biggest deficiency in the TUIK data set is that it completely lacks information on occupancy rates and buildings built before 1992.

Within the scope of the thesis, these two date sets were combined using a common building characterization taxonomy to compensate for each other's deficiencies, and the missing information was completed with statistical methods and distribution within this complete data. K-Nearest Neighbour algorithm (KNN) has been used for missing data and beta distributions have been used for year distributions. The data on the interactive earthquake map published by the Natural Disaster Insurance Institution (DASK) for the exact building numbers for the provinces were used. The missing building before 1992 in the building permit data were completed with building property distributions before 1992 in the SBB data and buildings with construction years of 1992-1999 in the building permit data. Then in order to find the number of people living in a building class based on TUIK data, the results of the Address Based Population Registration System (ADNKS) at the district level, also share in TUIK, were obtained. District populations were obtained according to the flat rates in the districts and by using the household distribution according to the year of construction in the summary statistics of the Building Quality and Housing Survey (BKNA) published by TUIK. Finally, the reconstruction costs for each building were added by using the approximate unit costs of the building to be used in the calculation of architectural and engineering service fees published in the Official Gazette by the Ministry of Environment, Urbanization and Climate Change, and the usage type and surface area of each building. In this full data set created for Türkiye, 11,409,354 buildings were calculated and a reconstruction cost of $ 2.5 Trillion was calculated for the reconstruction of these buildings.

In order to obtain more precise building fragility in exposure models, it is necessary to use features that may affect fragility in existing data. Within the scope of the thesis, machine learning models were trained to predict three building irregularities that are found in SBB data but not in TÜİK data. Random Forest Classification was used as the algorithm and "Irregularity in Plan", "Soft Floor" and "Building Order" in the SBB data were used as prediction labels. The accuracy rates of the models verified within the SBB data were obtained as 80.36% for the Irregularity in Plan label, 85.73% for the Soft Label and 71.93% for the Building Order. Then, prediction results were obtained on all data with these models and added to the exposure model.

Finally, for the spatial distribution of the created data set, the district locations where the building is located were obtained. Studies have proven that the spatial distribution of exposure models has an impact on the uncertainty of the model. For this reason, representing all the buildings in the districts on a single point will increase the uncertainty of the model, so the spatial distribution of the buildings must be distributed using appropriate methods. In this thesis, artificial land covers defined on the CORINE data set were used for the spatial distribution of buildings. The artificial cover closest to the district locations was calculated and the buildings were distributed

homogeneously on this cover. Finally, all data was added to the map of Türkiye along with their distribution.

1. GİRİŞ

Yerleşimin kırsaldan kentsel alanlara kaymaya başlamasıyla birlikte doğal afetlere maruz kalan insan ve insanların sahip olduğu değerlerin sayısında da artış olmuştur (Pavić ve ark., 2020a). Özellikle deprem riski altında yaşayan toplulukların sismik tehlikeye karşı yaşayacakları potansiyel kayıpların tanımlanması hem karar vericiler hem de araştırmacılar için oldukça önemli bir konudur (Masi ve ark., 2021a). Afet etkilerinin azaltılması ve toplumun hazırlıklı olabilmesi için afet yönetiminin iyi planlanması ve uygulanması gerekmektedir. Afet yönetiminde ilk aşama riskin azaltılması için bilgi edinme ve bu bilgilerden çıkarım yapılmasıdır (Sawalha, 2020). Afet riskinin belirlenebilmesi için bölgenin tehlike karakterizasyonu, tehlikeye maruz kalan değerlerin karakterizasyonu ve bu değerlerin kırılganlıkları hakkında bilgi sahibi olunması gerekmektedir. Tehlikenin belirlenmesi aşamasında potansiyel bir afetin meydana gelme olasılığı elde edilmeye çalışılır. Olayların oluşma olasılığının doğru ve efektif belirlenmesi için olayın kaynağının iyi tanımlanmış olması gerekmektedir (Meletti ve ark, 2008). Olayların oluşma olasılığı belirlendikten sonraki aşama ise bu olayların etki edeceği yaşamların ve ekonomik varlıkların tanımlanması işlemi gelmektedir. Bu tez kapsamında da ele alınmış olan maruziyet konusu bu işlemi açıklamaktadır. Maruziyet yoğunluk, tür, dayanıklılık ve konum ile tanımlanır (Wieland ve ark., 2012). Yoğunluk afetlerin gerçekleşeceği belirli bölgedeki insan, yapı ve altyapı yoğunluğunu ifade eder. Yoğunluk ile ilgili veriler ülkelerin merkez istatistik kurumlarında nüfus veya bina yoğunluğu olarak mevcut olabilir. Yeni teknolojilerin (uydu görüntüleme vb. gibi) mühendislik alanında kullanılmaya başlanmasıyla insanlı veya insansız hava araçları ile uzaktan tespit yöntemleri, mevcut olmayan verilerin yerini doldurması için de kullanılmaktadır. Bu teknolojiler ile yoğunluğu tanımlamak kolay olsa da bu yoğunluğu ayrıştıracak tür özelliklerinin elde edilmesi için kapsamlı bilgiler ve görüntü işleme yöntemleri gerekmektedir. Burada önemli olan soru şudur, tehlikeye maruz kalan değer nedir ve bu değerin tehlikelere karşı dayanıklılığı veya başka bir deyişle hasargörebilirliği ne kadardır. Bu soruların cevapları için ciddi derecede bilgi, zaman ve uzman görüşleri gerekmektedir. Ülkelerin merkezi istatistik birimlerinin paylaştığı yapı izin bilgileri ve/veya sigorta

kurumlarının elde etmiş olduğu poliçe bilgileriyle belirli seviyede bu bilgiler elde edilebilse bile çoğu ülke için bu bilgiler tamamen eksik veya detay seviyesinde hala yetersiz kalmaktadır (Nqasha ve ark., 2024). Bu nedenle bu ayrıştırmalar için uzman görüşleriyle çeşitli ön kabuller ve varsayımlar yapılmaktadır. Ayrıştırma işleminden sonra belirlenen türlerin mekânsal dağılımları gerçekleştirilmelidir. Uzaktan tespit yöntemleri ile elde edilen verilerde konum bilgisi mevcut olsa bile istatistik kurumlarından alınan bilgilerde konum bilgisi mevcut olmayabilir. Türlerin mekânsal dağılımı için de yine çeşitli varsayımlar ile popülasyona göre dağılımlar gerçekleştirilmektedir (Adimalla, 2020). Son olarak türlerine ve mekânlara göre ayrışan yoğunlukların ekonomik değerleri de belirlenerek maruziyet modeli tamamlanmış olunur.

Tehlikenin ve maruziyetin tanımlamasından sonra tehlikelere maruz kalan değerlerin kırılganlıkları belirlenmesi gerekmektedir. Kırılganlık kayıpların ölçüsünü belirlemede önemli bir araçtır. Maruziyet ve tehlike aşamasında elde edilen veriler üzerinde yapılan işlemler ile kırılganlıklar elde edilir. Ancak yapılan varsayımlar arttıkça kırılganlık sonuçlarındaki belirsizliklerde bir o kadar artacaktır. Bu nedenle tehlike ve maruziyetin detaylı bir şekilde karakterize edilmesi sonuçların doğruluğu için oldukça elzemdir.

Bu üç bileşeninde dikkatlice değerlendirmesi sonucunda afet etkilerini en aza indirgeyebilen bir planlama çalışması yapılabilir. Bu planlamaların güvenilirliği ve uygulanabilirlik derecesi kadar afet yönetimi bütüncül olarak ele alınmış olunur.

1.1. Tezin Kapsamı

Bu tez kapsamında Türkiye'de kullanılabilecek, ilçe düzeyinde bina sayıları, bina sınıfları, doluluk oranları, yeniden inşa maliyetleri ve mekânsal dağılımlarını veren bir sismik maruziyet modeli oluşturulmuştur. Modelin oluşturulmasında Sakarya Büyük Şehir Belediyesi'nin yürütmüş olduğu kentsel dönüşüm projesi kapsamında elde edilen bina bilgileri, Türkiye İstatistik Kurumu tarafından paylaşılan Yapı izin İstatistikleri, Bina Konut ve Nitelik Araştırması (BKNA) ve CORINE 2018 yapay arazi örtüleri modellerin oluşturulmasında alt veri olarak kullanılmıştır. Bina kırılganlığına etki edebilecek ek özellikler ise eğitilen Makine Öğrenmesi modellerinin tahminleriyle elde edilmiştir.

1.2. Literatür Araştırması

Günümüze kadar sismik maruziyet ile ilgili birçok araştırma üniversiteler, devlet ve/veya özel sektör kuruluşları tarafından gerçekleştirilmiştir. Bunlar arasında en fazla dikkat çeken model SERA projesinin bir parçası olarak, kamuya açık istatistiksel bilgiler ve FP7 Avrupa projesi NERA ve GED4GEM projesi kapsamında başlatılan faaliyetlere dayanan Avrupa Maruziyet Model'idir (Crowley ve ark, 2021). Bu model 44 Avrupa ülkesi için konut, ticari ve endüstriyel bina sınıflarını, sayılarını, dolulukularını ve yeniden inşa maliyetlerini mekânsal dağılıma göre açıklamıştır (Crowley ve ark., 2022). Daha sonra Küresel Deprem Modelleme (GEM) bu verileri geliştirerek her ülkenin mevcut en küçük idari bölümündeki konut, ticari ve endüstriyel bina stokuna ilişkin bilgilerle genişletmiştir (Yepes-Estrada ve ark, 2023a). Ülkemizin de içinde olduğu bu modeller il bazında bina sayıları, bina sınıfları, dolulukları ve yeniden inşat maliyetleri gibi bilgileri 5 yay saniye çözünürlüklü bir mozaik harita ile sunmaktadır. Bina sınıflandırması olarak taşıyıcı malzeme, taşıyıcı sistem, yönetmelik türü ve süneklilik durumlarını kullanmaktadır. Pavić ve ark. (2020b) Hırvatistan'ın Osijek şehri için kendi elde ettikleri veriler ışığında maruziyet modeli geliştirmiştir. Bu modelde binalar materyal türlerine, düşey ve yatay taşıyıcı sistem türlerine, kat adetine ve bina düzensizliklerine göre sınıflandırma yapılmıştır. Dabbeek ve ark. (2021) maruziyet modelindeki çözünürlüğün sismik risk tahminindeki etkisi üzerine bir çalışma yapmış ve sonuç olarak mekânsal dağılımdaki belirsizliklerin ihmal edilmesinin yıllık ortalama kayıplarında büyük bir yanlılık getireceği sonucuna ulaşmışlardır. Rivera ve ark. (2020) benzer bir şekilde mekânsal dağılımın belirsizliğe etkisini Şili'nin başkenti Santiago'nun dinamik büyümesini konu alan ve bunu disiplinler arası bir konu olarak araştıran bir çalışma gerçekleştirmiştir. Bu çalışmada şehrin son 25 yıldaki büyümesinin gelecek yıllarında takip edeceği ve yapı malzemelerindeki tercihlerinde dinamik olarak değişeceğini öngörmüştür. Masi ve ark. (2021b) İtalya sismik risk azaltma çalışması kapsamında geliştirilen IRMA projesinin içerisinde alt veri olarak bulunan İtalya sismik maruziyet modelini, gözlemlenmiş hasarla genişletmişlerdir. Ulusal riske daha kapsamlı bir bakış için de okul, dini yapı ve köprü gibi farklı önem seviyesindeki yapı türlerine yer vermiştir. Calderón ve Silva (2021), çeşitli zamana bağlı belirsizlik kaynaklarını göz önünde bulundurarak Kosta Rika'nın büyük metropol bölgelerinde gelecekteki değer sayısını

tahmini için coğrafi ağırlıklı bir regresyon modeli kullanmıştır. Elde edilen sonuçlarla 2030 yılına kadar üretilecek değerlerin ekonomik kayıplarını hesaplamışlardır

Ülkemiz sismik aktivite yönünden çok aktif bir bölgede bulunduğu için sismik kayıpların tahmini kapsamında hem yerel hem de yabancı araştırmacılar için birçok çalışmaya konu olmuştur. Güllü ve ark. (2008) Türkiye'nin Güney Doğu Bölgesi'nde yer alan Gaziantep ili için sismik tehlike çalışması kapsamında 0.25 derece ızgara çözünürlüğüne sahip tehlike haritaları üretmiştir. Inel ve ark. (2010) 592 adet düşük ve orta katlı betonarme binanın inşa yılına ve üç adet kat sınıfına göre dağılımlarını çıkarmıştır. Elde ettiği bu sınıfların malzeme dayanımları, plan alanları, kat yükseklik oranları, duvar uzunluk oranları, sürekli çerçeve sayıları, kolon sayıları, kolon kesit boyutları, boyuna donatı oranı ve kiriş boyutları gibi fiziksel özellikleri istatistiksel özet biçiminde paylaşmıştır. Bal ve ark. (2010) Türkiye'nin Marmara Denizi bölgesi için maruziyet verileri oluşturmuştur. Daha sonra bu verilerin coğrafi çözünürlüğünün bir deprem senaryosundaki kayıp tahminine etkisini araştırmıştır. Bjerrum ve ark. (2014.) Türkiye'nin İzmir bölgesinde sismik risk çalışmaları gerçekleştirmiş ve incelediği bölgedeki bina envanterini uydu görüntülerini HAZUS metodolojine göre çıkarmıştır. Gunes (2015) 2010'a kadar inşa edilmiş binaları malzeme türü, malzeme dayanımı ve kat dağılımı cinsinden incelemiş ve mevcut binaların değerlendirmesine yönelik yöntem sunmuştur. Ay ve ark. (2016) Türkiye bina karakteristiğinin değişimini değerlendirmek için 2002-2015 arası TÜİK yapı izin istatistiklerini kullanarak bir inceleme yapmıştır. Bu çalışmada yıllara göre konut ve konut dışı binaların kat adeti, malzeme özellikleri ve taşıyıcı sistem türüne göre dağılımlarını incelemiştir. Eroğlu ve ark. (2017) Türkiye'deki betonarme binaların geometrik özelliklerini araştırdığı bir çalışma gerçekleştirmiştir. Düzce ve İstanbul'daki belirli bölgelerinde binaların kat sayısı, sürekli çerçeve sayısı, açıklık boyutları ve kolon yerleşimleri gibi özellikleri istatistiksel olarak incelemiştir. Karimzadeh ve ark. (2018) Türkiye'nin Doğu Anadolu Bölgesi'nde yer alan Erzincan ili için sismik kayıp tahmini kapsamında TÜİK yapı sayım verileri ve saha gözlemleriyle 21 bina sınıfı elde etmiştir. Meral (2019) Türkiye'deki betonarme bina stokunu belirleyebilmek için oluşturduğu örneklem üzerinden çıkarım yapmıştır. Mevcut betonarme konutların kat adetlerine göre kiriş, kolon ve pederde duvarların sayıları, malzeme özellikleri, plan alanları gibi fiziksel özelliklerin istatistiksel dağılımlarını çıkarmıştır. Doğan ve ark. (2021) 2020 Elazığ depremi sonrası hasar değerlendirmesi için bölgenin bina stok

özelliklerini araştırmış ve 1999 öncesi inşa edilen betonarme yapıların denetimsiz olarak üretildiği ve bu binaların yersarsıntısına karşı daha kırılgan olduklarını tespit etmişlerdir. Arslan Kelam (2022) Gaziantep ili için potansiyel hasarların değerlendirilmesi kapsamında bölgenin yapı stokunun özellikleri çıkarılmıştır. Çalışma bölgesindeki bina envanter bilgilerini 2001 sonrası TÜİK izin istatistikleri ve saha gözlemlerini birleştirerek elde etmiştir. Elde ettiği bilgilerden bina stokunu beş sınıf özelliğe toplamıştır. Bunlar, inşa malzemesi, taşıyıcı sistem türü, kat adeti, standartlara uygunluk ve tüm stok içerisindeki yoğunluğu. Daha sonra elde ettiği bina sınıflarının kırılganlık özelliklerini araştırmıştır.

Yapılan çalışmalar Türkiye'deki bina stokunun anlaşılmasında tartışmasız önemli katkılar sağlamıştır. Ancak her çalışma mevcut veriler ışığında kendi dönemi içindeki verileri kullandığından günümüzdeki güncel verilere göre genişletilmesi gerekmektedir. Ayrıca yapılan çalışmaların büyük bir çoğunluğu yapı izin istatistiklerine dayanmaktadır ve bu veriler 1992 öncesi inşa edilmiş Türkiye'nin en kırılgan bina stok bilgisini içermemektedir. Bu nedenle ulusal ölçekte oluşturulacak güvenilir bir maruziyet modeli güncel bilgiler ve bütünlük açısından eksik olmamalıdır. Bu tez kapsamında da kullanılan güncel bina izin istatistikleri ve detaylı bölgesel verilerle tüm Türkiye'deki bina stokunun sınıfsal ve mekânsal dağılımını içeren bir maruziyet modeli sunulmuştur.

Bu tezin devam eden bölümlerinde maruziyet modelinin oluşturulması için kullanılan veri setlerinin özellikleri sunulmuştur. Ardından bu veri setine yapılan işlemler ve maruziyet modelinin oluşturulmasındaki metodoloji açıklanmıştır. Sonuç bölümünde ise elde edilen bulgular paylaşılmıştır.

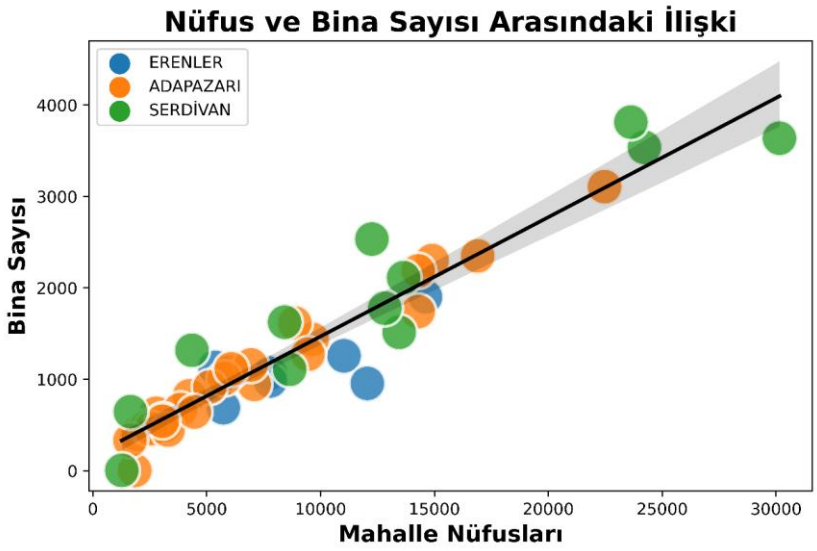
2. BİNA STOĞU İLE İLGİLİ VERİSETLERİ

2.1. SBB Kapsamında Toplanan Bina Envanter Veri seti

"Sakarya Büyük Şehir Belediyesi" ve "Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD)" tarafından yürütülen, kentsel dönüşüm çalışmalarında alt veri olarak kullanılmak üzere Sakarya genelinde detaylı bina bilgilerinin toplandığı bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Verilerin toplanması için gerekli kılavuzlar akademisyenlerin danışmanlıkları ve Afet Riski Altındaki Alanların Dönüştürülmesi Hakkında Kanun (6306) kapsamında Riskli Binaların tespit edilmesi için hazırlanmış olan ek-2 dokümanı kullanılmıştır. Bilgiler şehrin farklı bölgelerinde görevlendirilmiş mühendisler tarafından sahada gözlemler sonucu elde edilmiştir. Çalışma kapsamında Sakarya'nın merkez ilçeleri ve köylerinde sokak taramaları yapılmıştır.

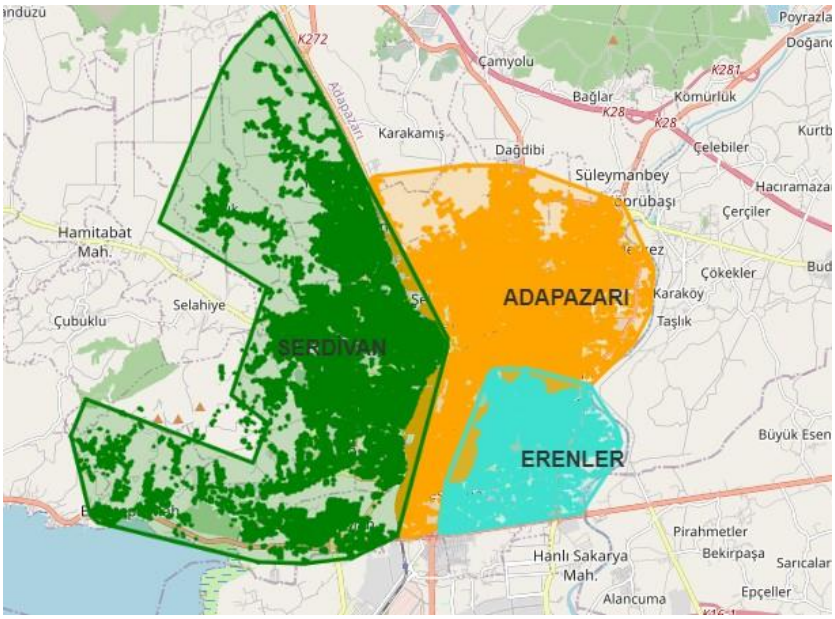
Bu tez kapsamında ise Sakarya'nın üç merkez ilçesi olan; Adapazarı, Serdivan ve Erenler'e ait bina envanter bilgileri kullanılmıştır. Üç ilçeden 66 mahalle için yürütülen çalışmada toplam 62,000'den fazla bina için fiziksel özellikler toplanmıştır.

Toplanan özelliklerle ilgili ham verinin işlenmesi ve veriler arasındaki ilişkilerin irdelenmesi tezin bu bölümünde gerçekleştirilmiştir. Şekil 2.1'de mahalle nüfusları ile mahalle sınırları içeresinde bulunan bina sayıları arasındaki doğrusal ilişki gözükmektedir. Şekildeki her nokta bir mahalleyi temsil etmektedir. Nüfusun artışıyla birlikte bina ihtiyacının artması beklenen bir süreç olmasına karşın bu eğrinin eğimi yerleşimin yerinin özelliklerine göre değişim göstermektedir (Pirowski ve Bartos, 2018). Grafikte üç merkez ilçeden en eski yerleşim olan Adapazarı ilçesi eğriye en çok uyum sağlayan ilçe olmuştur. Buradaki oran yaklaşık olarak bir binada 6.77 kişi yaşadığını göstermektedir. Serdivan ve Erenler ilçeleri Adapazarı ilçesine göre daha yeni yerleşim alanlarına sahip olduğu için ortalama değere göre daha çok değişkenlik gösterdiği gözlemlenmiştir. Nüfus ve bina sayıları arasındaki ilişkiler komşu bölgeler arasında bile değişkenlik gösterebildiği için buradan yapılacak çıkarımlar mümkün olduğu kadar küçük bölgelerde gerçekleştirilmelidir.



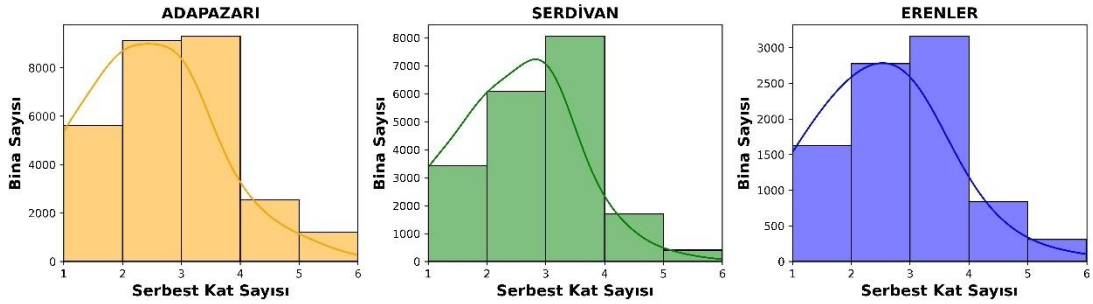
Şekil 2.1. Mahalle düzeyinde bina sayısı ve nüfus arasındaki ilişki.

Bina sayılarındaki bir diğer önemli çıkarım ise yerleşimin yoğunlaştığı kentsel yüzey alanları ve bina ayak izleri arasındaki bağıntılardır. Şekil 2.2'de üç ilçedeki bina ayak izleri ve bunları sınırlayan kent yüzey örtüsü gösterilmektedir. Sakarya il merkezinde yoğunlaşan yapıların oluşturduğu kent yüzey alanı yaklaşık olarak 8,000 hektarlık bir poligon oluşturmaktadır. Toplam 62,580 binanın oluşturduğu ayak izleri ise 1,227 hektarlık bir alanı kapsamaktadır. Kent örtüsünün %15.33'lük kısmını binaların ayak izleri oluşturmaktadır ve bir bina ortalama 196.06 metrekare alana sahiptir.

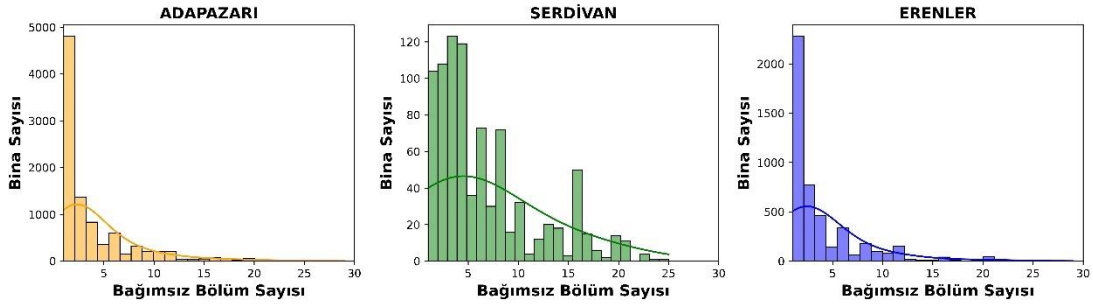


Şekil 2.2. Merkez ilçeler ve kentsel yüzeyleri.

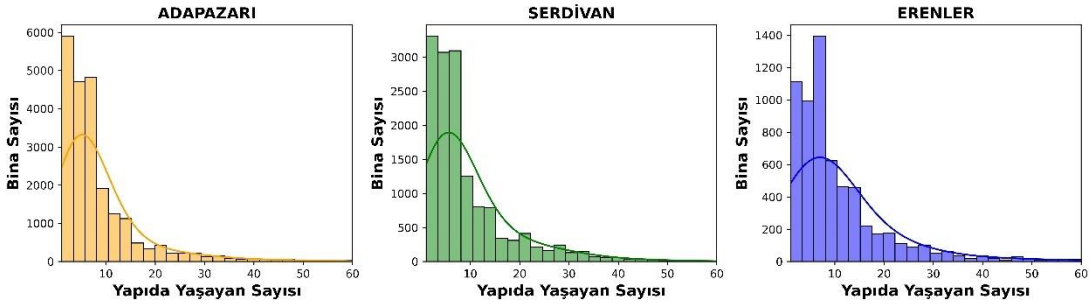
Sakarya ilinin bina stokundaki kat sayıları ve buna bağlı bağımsız bölüm sayıları ile bu bağımsız bölümlerde yaşayan kişi sayılarının dağılımları Şekil 2.3-2.5'de gösterilmiştir. Şekil 2.3'te binalardaki kat sayılarının dağılımları incelendiğinde Serdivan ilçesinde ortalamanın diğer illere göre daha yüksek olduğu gözükmektedir. Bunun nedeni Serdivan ilçesinin hem daha yeni bir yerleşime sahip olması hem de zemin sınıfının diğer ilçelere göre daha sert bir sınıfa sahip olması nedeniyle daha yüksek katlı binalara izin veriliyor olmasındandır. Diğer ilçeler daha gevşek zemin sınıflarına sahip olduğu için daha düşük katlı binalarla karşılaşılmaktadır. Şekil 2.4'te bağımsız bölümlerin Serdivan ilçesinde yapılmış binalarda ortalama olarak 6-7 arası olduğu görülürken daha eski yerleşim olan Adapazarı ve Erenler bölgesinde bu oran 4 bağımsız bölüme kadar düşmektedir. Son olarak Şekil 2.5'te yapıda yaşayan sayısı incelendiğinde bağımsız bölüm oranlarından farklı bir dağılıma sahip olduğu gözükmektedir. Daha az bağımsız bölüm oranına sahip Erenler ilçesinde bir binada yaşayan ortalama sakin sayısının Serdivan ve Adapazarı ilçelerine göre daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Dağılımlarda da görüldüğü gibi özellikler arasında beklenen doğru orantılar her zaman sağlanamamaktadır. Bunun nedeni bölgelerdeki yapıların kullanım türlerindeki farklılıklar, bölgedeki sosyal-demografik yapı, bölgenin coğrafi yapısı gibi çok çeşitli nedenlerden kaynaklanmaktadır (Lindh ve Malmberg, 2008).



Şekil 2.3. İlçe düzeyinde serbest kat sayısı dağılımı.

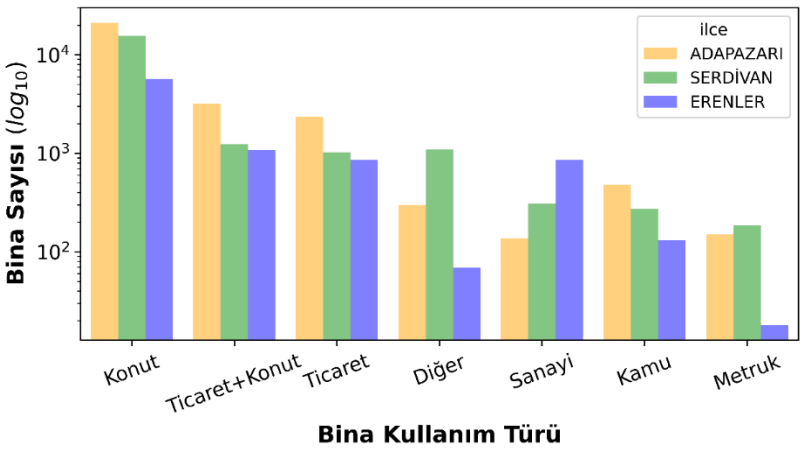


Şekil 2.4. İlçe düzeyinde bağımsız bölüm dağılımı.



Şekil 2.5. İlçe düzeyinde yapıda yaşayanların dağılımı.

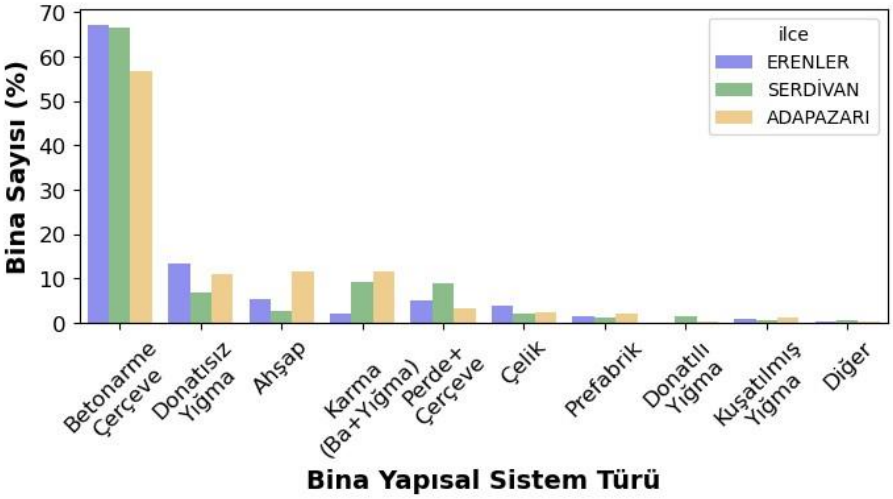
Risk altındaki binaların sayısı birinci düzey olarak yani ilk merak edilen özellik olmaktadır ve ülke çapında edinilmiş çeşitli istatistiksel verilerle dahi belirli yaklaşıklıkla elde edilebilecek bilgilerdir. Fakat sadece bu bilgiler ile kayıp tahmini yapmak oldukça kaba bir çıkarım verecektir. Çünkü bu yapıların hangi amaçla kullanıldığı, yapılardaki hane halkının sayısı ve bu binanın kullanılamaz hale geldiğinde ne derece kayıp oluşturacağının karakterizasyonu hakkında bir bilgi yoktur. Bu nedenle ikinci düzey olarak tehlikeye maruz kalacak yapıların dağılımlarının kullanım türüne göre ayrışması belirsizliğin azaltılması ve bina envanterinin sistematik şekilde karakterizasyonu için önemlidir. Toplanılan veride bu özellik hakkında yedi kategorik değişken oluşturulmuştur. Bu değişkenlerin dağılımı Şekil 2.6'da sunulmaktadır. Sakarya genelinde yapıların %75.58'i sadece konut olarak kullanılırken, %9.78'i ticaret ve konutun aynı anda kullanıldığı binalardan oluşturmaktadır. Sadece ticaret yapıları bina stokunun %7.51'ini, sanayi yapıları ise %2.31'ini oluşturmaktadır. İlçe bazında kullanım türleri incelendiğinde ise Erenler bölgesinde daha çok sanayi yapılarının olduğu ve diğer kullanım türlerinden farklı bir dağılım gösterdiği yine şekildeki grafikte görülmektedir.



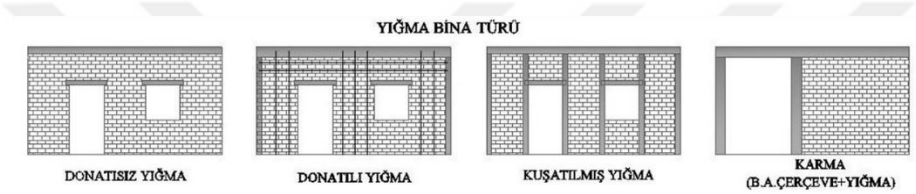
Şekil 2.6. Bina kullanım türünün ilçelere göre logaritmik tabanda dağılımı.

Bina yoğunlukları kullanım sınıflarına ayrıldıktan sonra gerekli görülen bir diğer nitelik binaların yapısal sistem sınıflandırmasıdır. Binalar çeşitli tehlikelere maruz kalacağı için hangi yapısal sınıfın bu tehlikelere daha hassas olacağını belirlemek maruziyet modellinin temelini oluşturmaktadır. Bu özellik ülkelerin merkez istatistik büroları tarafından sunulan izin istatistikleriyle belirli dereceye kadar belirlenebilse de detaylı bir sınıflandırma için ayrı çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır. Aynı zamanda coğrafi bilgi sistemlerinde uydu görüntülerinin yazılımlar sayesinde işlenmesiyle de yaklaşık sonuçlar elde edilebilmiştir (Sohn ve Dowman, 2007). Fakat bu yöntem hem ileri derecede uzmanlık gerektirmektedir hem de ekonomik olmamaktadır. Maruziyet modellerindeki en büyük epistemik belirsizlik kaynağını yapısal sınıflardaki bilgi eksikliği oluşturmaktadır. Bu bilgileri en küçük bölge düzeyinde toplamak oldukça zaman alıcı ve maliyetli işlemdir. Bu nedenle geçmiş çalışmalarda belirli bölgeler için toplanmış veriler varsa çeşitli adresleme yöntemleri ve doğrulama yöntemleri ile çeşitli çözünürlüklerde belirsizlikleri sistematik olarak ele alınabilmektedir (Lee ve ark., 2017).

Bu tez kapsamında kullanılan Sakarya genelinde toplanmış detaylı yapısal bilgiler, farklı tehlikelerdeki bina hassasiyetleri belirleyebilmek için toplanmıştır. Bu tez kapsamında öncelikli olarak sismik kırılganlığa etki edebilecek başlıca özellikler ele alınmış olsa da diğer tehlike türlerindeki önemli kırılganlık özellikleri de bu bölümde sunulmuştur. Sismik tehlikelere karşı hassasiyette en çok merak edilen özelliklerden birisi taşıyıcı sistem türüdür. Şekil 2.7'de sunulduğu gibi tüm ilçeler için en çok kullanılan yapı sistemi "Betonarme Çerçeve" sistemi olmuştur. Oransal olarak en fazla betonarme çerçeve barındıran ilçe ise %67.24 ile Erenler ilçesi olurken en az oran ise %56.63 ile Adapazarı ilçesi olmuştur. Betonarme çerçeveden sonra en çok kullanılan sistem türü ise "Yığma" sistemlerdir. 6306 kanunun Ek-2 dokümanında yığma bina türü dört ayrı kategoriye bölünmüştür bunlar; Donatısız Yığma, Donatılı Yığma, Kuşatılmış Yığma ve Karma (Betonarme çerçeve + Yığma) sınıflarıdır Şekil 2.8. İncelenen bölgelerde en çok karşılaşılan yığma sınıfı Donatısız Yığma sınıfıdır. Bunu Karma, Donatılı Yığma ve Kuşatılmış Yığma sınıfı takip etmektedir. Yığma yapılardan sonraki en çok kullanılan sistem ise ahşap sistemdir. Merkezi yerleşim olan Adapazarı'nda en çok ahşap yapı görülürken en düşük ahşap yapı Serdivan ilçesinde görülmüştür. Ahşap yapı sınıfını Perde + Çerçeve, Çelik ve Prefabrik sınıfları takip etmiştir.

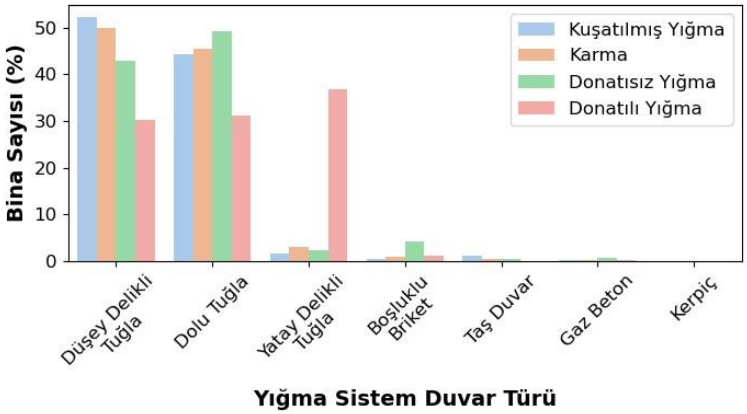


Şekil 2.7. Taşıyıcı sistem türünün ilçelere göre dağılımı.



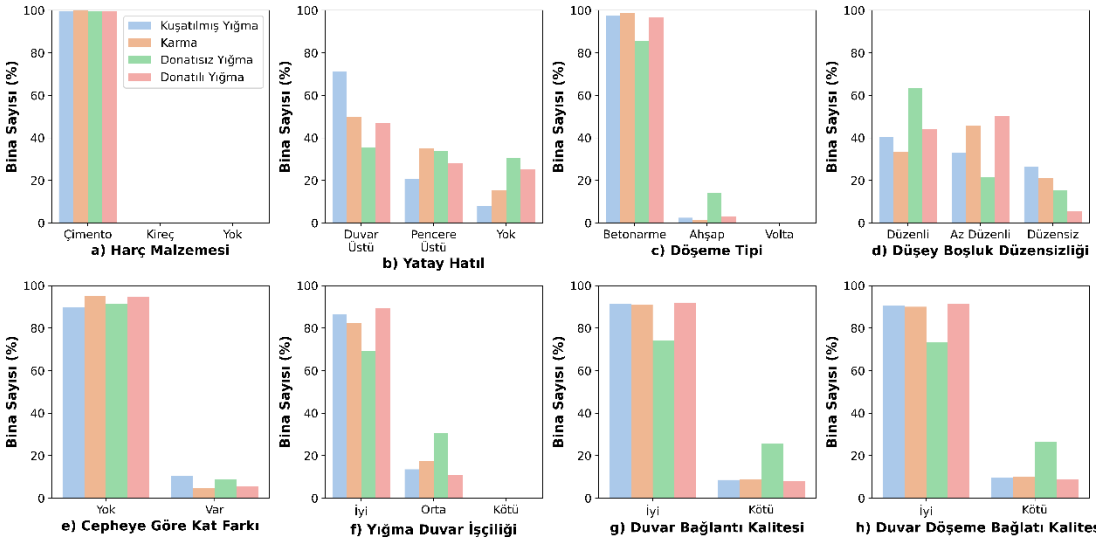
Şekil 2.8. Yığma bina türleri (6306 Ek-2).

Yığma binalarda dikkat edilen bir diğer özellik ise kullanılan taşıyıcı duvar tipidir. Şekil 2.9'da görüldüğü gibi yığma binalarda en çok kullanılan duvar malzemesi tuğladır. Tuğlaların üç farklı türü göz önüne alınmıştır. Yerleşimine göre düşey veya delikli tuğla ve boşluk durumuna göre ise boşluksuz tuğla. Diğer duvar türlerinin kullanım oranları toplamda %5'in altında kalmıştır. Dikkat çeken bir durum da donatılı yığma türü sistemlerde çoğunluk olarak yatay delikli tuğla kullanılmasıdır.



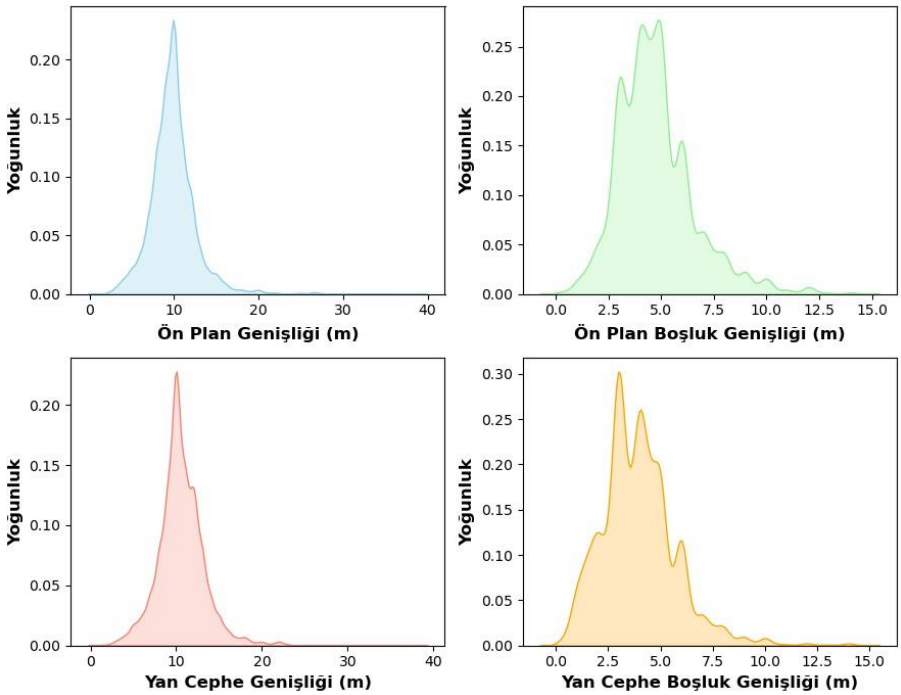
Şekil 2.9. Yığma sistemlerde kullanılan taşıyıcı duvar türleri.

Yığma duvarlar için toplanılmış diğer özellikler Şekil 2.10'da verilmiştir. İlk grafikte duvarların bağlantıları için kullanılan harç malzemesin dağılımları verilmiştir. Merkez ilçelerde yerel malzeme kullanımı sınırlı olduğu için daha standart bir malzeme olarak çimento harç malzemesi tüm yığma sistemlerde ağırlıklı olarak kullanılmıştır. Hatıllar yığma yapılarda duvar yüklerini düzgün dağıtılabilmesi ve geniş duvar yüzeylerden kaçınılıp dikey duvar hasarlarını azaltmaya yarayan yapısal elemanlardır (Borri ve ark., 2009). Türkiye yığma yapı tarzlarında yatay hatıl türleri duvar üstü ve pencere üstü olarak ayrılmaktadır. Araştırmanın yapıldığı bölgelerde hatıllı yığma binalar tüm yığma yapıların yaklaşık %77.61'lik kısmını oluşturmaktadır. Kullanılan döşeme malzemelerine bakıldığında ise betonarme malzeme sınıfı baskın olarak kullanılmıştır. Donatısız yığma yapıların yaklaşık %14.20'lik kısmında ahşap döşemeyle karşılaşılmıştır. Yığma yapılarda duvar elemanlarının taşıyıcı özelliği ön planda olduğu için pencere ve kapı için açılacak boşluklarında olabildiğince düzenli olması gerekmektedir. Aksi taktirde duvara gelecek yüklerin oluşturacağı gerilimler üniform dağılımdan uzaklaşarak elemanın zayıf bölgelerinde gerilme birikimleri oluşturacaktır (Asteris ve ark., 2014). İncelenen bölgelerdeki yığma yapıların %81.94'ü düzenli boşluk durumlarına sahipken geriye kalan binalarda düzensiz boşluk durumu hakimdir. En çok düzensiz boşluk durumuna sahip yığma sistem ise kuşatılmış yığma sistem olurken en düzenli sistemler ise donatısız yığma binalar olarak karşımıza çıkmaktadır. 6306 kanun Ek-2'de belirtilen bir diğer özellik ise yığma binanın cepheye göre kat farkının olup olmadığıdır. Şekil 2.10.e paneline bakıldığında yapıların sadece %6.95'inde bu düzensizliğin olduğu diğer kalan binalarda ise cepheye göre kat farkı bulunmadığı görülmektir. Son olarak binalardaki inşa işçiliğiyle ilgili gözlem yoluyla elde edilen bilgiler bulunmaktadır. İşçilik ile ilgili özelliklerde dikkat çeken durum, işçiliği kötü olarak etiketlenen yığma sistemlerde en fazla orana donatısız yığma sistemlerin sahip olmasıdır. Bu sistemler düzensizlik özelliklerinde dikkat çekmese bile işçilik özelliklerinde ön plana çıkmaktadır.



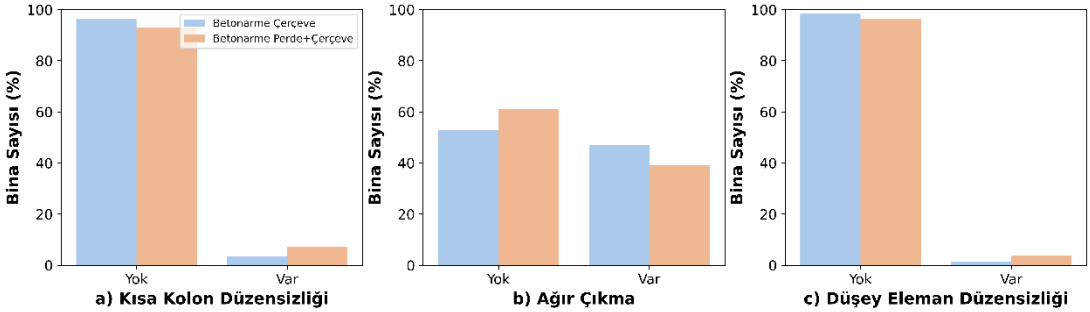
Şekil 2.10. Yığma sistemlere özel olarak toplanmış diğer özellikler.

Yığma yapılarda kullanılan duvarın sürekliliği önemli bir özellik olduğu için duvar ve duvar boşluklarının boyutları yığma binaların kırılganlığını tayin etmede önem arz edebilir (Parisi ve Augenti, 2013). Şekil 2.11'de merkez ilçelerde bulunan yığma yapıların cephe ve boşluk genişliklerinin dağılımları verilmiştir. Bu tarz binaların ön ve arka cephe genişlikleri yaklaşık 10 metre iken ön boşluk genişliği ortalama 5 metre, yan cephe boşluk genişliği ise ortalama 3 metre kadardır.



Şekil 2.11. Yığma yapılarda cephe ve boşluk genişlikleri.

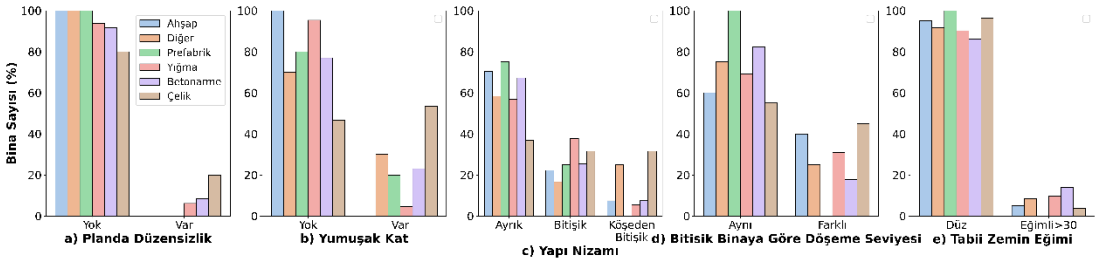
İleriki bölümlerde de görüleceği gibi Türkiye'deki yığma yapı stokunun çoğunluğu modern deprem yönetmeliği öncesinde inşa edilmiştir. Bu sonuç yığma yapıların önemli çoğunluğunun düşük standartlarda, mühendislik hizmeti almadan ve kontrolsüz inşa edildiğini göstermektedir ve yer hareketlerinden kaynaklanan tehlikelere karşı oldukça savunmasız olmaktadırlar (Işık ve ark., 2023). Oluşturulacak maruziyet modellerinde de yığma yapılar için detaylı bilgiler ve analizler gereklidir. Yığma binalara ek olarak Türkiye'de yaşanan 2023 Kahramanmaraş depreminde tecrübe edildiği üzere betonarme sisteme sahip yapı stoku da ciddi hasarlar almış ve tehlike karşısındaki yüksek kırılganlığı ortaya çıkmıştır (Altunişik ve ark., 2023). Bu nedenle yığma binalar kadar diğer taşıyıcı sistem türlerinde de detaylı bilgilere ihtiyaç vardır. Sakarya Büyük Şehir Belediyesi'nin yürütmüş olduğu çalışmada diğer taşıyıcı sistemlerle alakalı 6306 Ek-2 dokümanı rehberliğinde savunmasızlıkları karakterize eden özellikler elde etmiştir. Bu özelliklerden biri de betonarme binaların hasar görebilirliğine etki eden elamanlardaki düzensizliklerdir. Çalışma kapsamında sadece betonarme yapılardan toplanan düzensizlik bilgileri Şekil 2.12'de verilmiştir. Betonarme yapıların %3.88'inde kısa kolon düzensizliği, %46.45'inde ağır çıkma ve %1.65'inde ise düşey eleman düzensizliği mevcuttur. Çerçeve ve Perde + Çerçeve sistem arasında dağılımlarda büyük bir farklılık bulunmamaktadır.



Şekil 2.12. Betonarme binalardaki düzensizlik dağılımları.

Tüm yapı sistemler için toplanan diğer önemli düzensizlikler Şekil 2.13'de verilmiştir. Şekil 2.13.a panelinde planda düzensizliğe sahip binaların dağılımı gözükmektedir. İncelenen bölgedeki yapıların %7.78'inin sahip olduğu bu düzensizliğe oransal olarak en fazla sahip olan taşıyıcı sistem türünün çelik sistemler olduğu görülmüştür. Bu karşılaştırmalarda çelik yapı sayısının oldukça az olduğu için daha yüksek oranlara daha hızlı ulaştığı unutulmamalıdır. Şekil 2.13.b'de yumuşak kat düzensizliğinin dağılımı görülmektedir. Yumuşak kat düzensizliğine sahip bina oranı %19.36 ve en

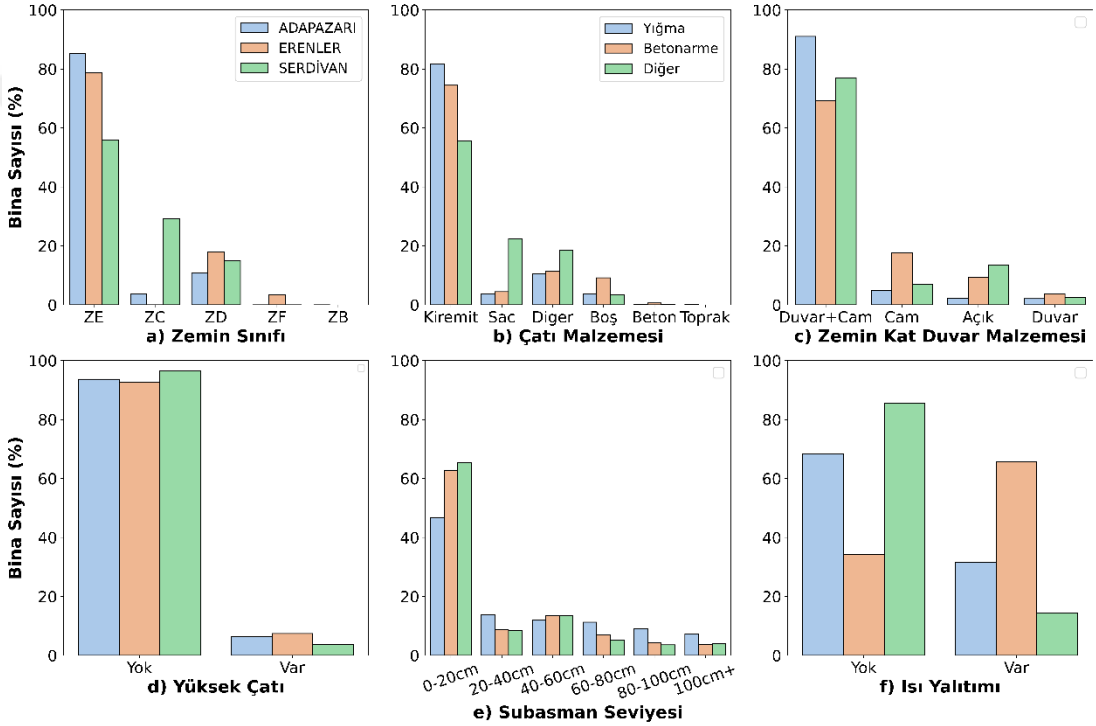
fazla yumuşak kat barındıran taşıyıcı sistem yine çelik sistemler olmuştur. Şekil 2.13.c'de yapıların birbiriyle olan nizam durumunun dağılımı görülmektedir. Burada da merkez ilçelerdeki yapı stokunun %33.34'ü bitişik nizam olarak ve %9.01'i köşeden bitişik olarak etiketlenmiştir. Bitişik nizam durumlarına ek olarak bir diğer önemli parametre ise bitişik olan yapıların döşeme seviyelerinin durumudur. Farklı döşeme seviyesine sahip yapı oranı bitişik nizam bina oranının %26.99'unu oluşturmuştur. Son olarak ortak düzensizlik grafiklerinde yine önemli bir parametre olan yapının inşa edildiği zeminin tabii eğimi dağılımı verilmiştir. Burada da binaların %11.94'ünün oturduğu zeminin eğiminin 30 dereceden fazla olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 2.13. Tüm taşıyıcı sistemler için düzensizlik dağılımı.

Çeşitli tehlikelere karşı binaların savunmasızlıklarını etkileyen diğer önemli parametreler Şekil 2.14'de verilmiştir. Verilen ilk dağılımda ilgilenilen bölgelerdeki, 2018 deprem yönetmeliğinde de önerilen zemin sınıfları dağılımı sunulmaktadır. Şekil 2.14.a'da görüldüğü üzere Sakarya Merkez bölgesinin büyük bir çoğunluğu ZE sınıfı zemine sahiptir. Bu sınıfa sahip zemin üzerinde bulunan bina sayısı tüm merkez stokunun %73.13'ünü oluşturmaktadır. Bu sınıfı %13.50 ile ZD, %12.84 ile ZC, %0.53 ile ZF sınıfı takip etmiştir. Serdivan ilçesi coğrafi konumu gereği daha çok kaya içerikli kompozisyonlara sahip olduğu için diğer ilçelere nispeten daha sıkı zemine sahip bina oranı daha fazladır. Daha gevşek sınıf olan ZD ve ZF sınıfları ağırlıklı olarak Erenler ve Adapazarı bölgesinde yoğunlaşmıştır. Yerinde veya uzaktan gözlemler ile kolaylıkla elde edilebilecek bir özellik olan çatı malzemesi ve zemin kat duvar malzemelerinin dağılımları taşıyıcı sistem türüne göre dağılımları Şekil 2.14.b ve c'de verilmiştir. Merkez ilçelerde bulunan yapıların %73.34'ü kiremit çatıya sahiptir ve oransal olarak da en çok yığma yapılarda bu tür çatı sistemi tercih edilmiştir. Ahşap ve Çelik yapıları içinde barındıran "Diğer" olarak etiketlenen taşıyıcı sistemlerde ise en çok tercih edilen ikinci çatı malzemesi Sac olmuştur. Zemin kat duvar durumunda ise en çok kullanılan durum, zemin katında duvar ve pencerenin

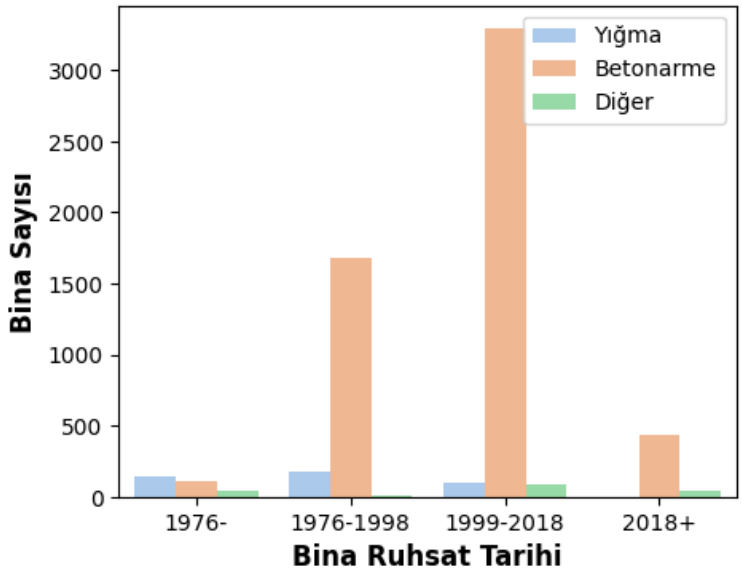
olduğu durum olmuştur. Bu tür yapılar incelenen tüm binaların %74.60'ini oluştururken %13.63'ü' zemin katın ticaret amaçla kullanıldığı ve cam vitrinin bulunduğu binalar takip etmiştir. Zemin katın cam olarak etiketlendiği binaların büyük çoğunluğunu betonarme binalar oluştururken zemin katı açık olan yapıların çoğu ise çelik ve ahşap yapılardan oluşmaktadır. Fırtına ve sel gibi çeşitli tehlikelere karşı önemli olan diğer özellikler ise yüksek çatı ve subasman seviyeleridir. İncelenen bölgelerdeki binaların %6.70'i fırtınalara karşı kayıpları artırabilecek potansiyeli olan yüksek çatıya sahip binalar oluştururken %60.03'ü su baskınlarına karşı zemin katın zayıf olduğu 0-20 cm yüksekliğinde subasmana sahip binalar oluşturmuştur.



Şekil 2.14. Tüm taşıyıcı sistemler için diğer önemli özellikler.

Son olarak Sakarya Belediyesi'nin yürütmüş olduğu çalışma kapsamında elde edilen binalara verilmiş ruhsat tarihlerinin dağılımları Şekil 2.15'de verilmiştir. Ruhsat yılları Türkiye'de geçmişte yürürlükte olmuş ve halen yürürlükte olan deprem yönetmelikleri baz alınarak 4 kategoride birleştirilmiştir. Bu kategorileri belirleyen yönetmelikler şu şekildedir 1975 Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (ABYYHY-1975), 1975 yönetmeliğinin güncelleme yapılarak yürürlüğe sokulan ABYYHY-1998 ve ülkemizde güncel olarak kullanılan Türkiye Deprem Yönetmeliği (TBDY-2018) (Ilki ve Celep, 2012). Merkez ilçeler için verilmiş olan dağılımlarda görüldüğü gibi ABYYHY-1975'den önce inşa edilmiş yapılar tüm stokun %4.85'ini

1975 ve 1998 ABYYHY arasındaki binalar %30.48'ini, 1998 deprem yönetmeliğinden 2018 deprem yönetmeliğine kadar, stok %56.92'sini ve 2018'den sonra yapılan binalar ise tüm stoğun %7.75'ine karşılık gelmiştir. Burada dikkat edilmesi gereken nokta bu özelliğin sadece 6105 bina için var olması ve sadece merkez ilçelere ait bir dağılım olması sebebiyle diğer mevcut veri setleriyle doğrulanmasına ihtiyaç vardır. 1998 sonrası yığma yapılar oransal olarak oldukça azalmış ve 2018 sonrasında bu sistem neredeyse hiç kullanılmamıştır. Bu çıkarımlar sonraki bölümlerde sunulmuş çıkarımlarla da desteklenmiştir.

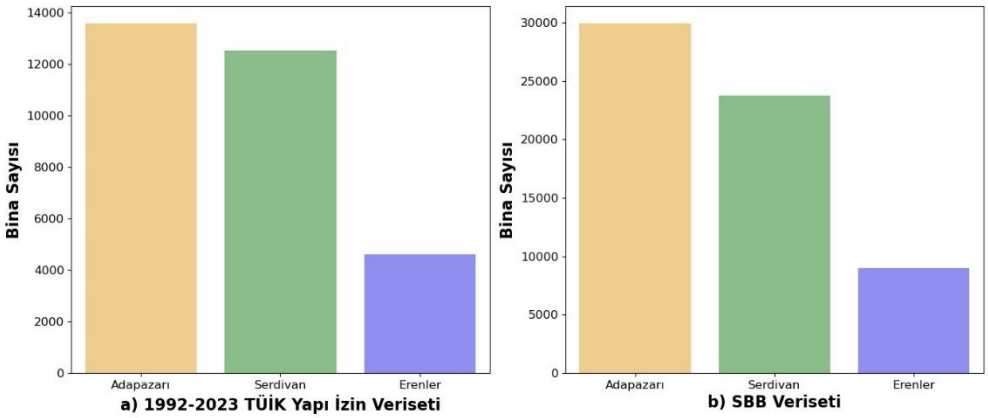


Şekil 2.15. Taşıyıcı sistem türüne göre binaların ruhsat tarihleri.

2.2. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) Yapı İzin İstatistikleri ve Konut Nitelik Araştırmaları

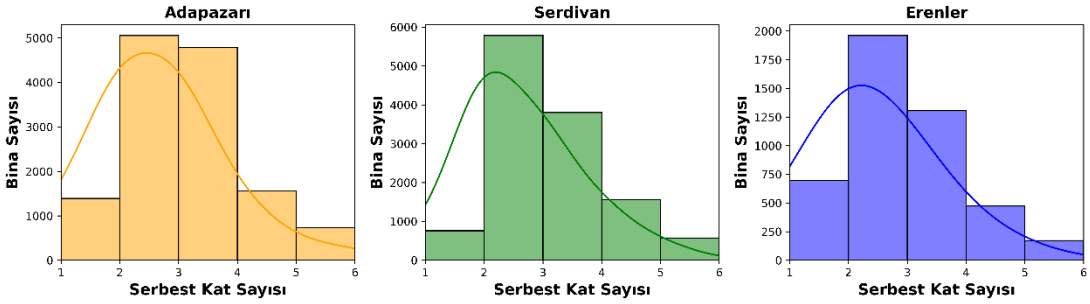
Yapı izin istatistikleri yetkili idarelerce düzenlenen yapı belgelerinin nüshalarını TÜİK ile paylaşarak ve TÜİK'in adres eşleşmeleri yaparak oluşturduğu bir veri setidir. Yapı izin istatistiklerinde sınıflandırma 2002 sonrası için Avrupa Birliği tarafından kullanılan İnşaat Tipleri Sınıflaması (İTS) kullanılmaktadır. Bu sınıflamada bina ve bina dışı özellikler olmak üzere iki ayrı grup bulunur. İTS'den önce Türkiye'ye özgü bir sınıflandırma kullanılmıştır. Yapı izin istatistikleri belediye düzeyinde 1992-2023 arasında inşaat faaliyet sonucunda tamamen veya kısmen biten yapılar için bilgileri içermektedir. Bu veri setinde bulunan özellikler öncelikli olarak Sakarya il sınırlarındaki binalar için incelenmiştir.

Tez kapsamında incelenen merkez ilçelerde 1992-2023 yılları arasında 30,691 binaya ruhsat verilmiştir. Şekil 2.16'da ilgilenilen bölgelerdeki bina sayılarının dağılımı verilmiştir. Grafikte de görüldüğü gibi ilçelerdeki bina dağılımları SBB veri setiyle uyumluluk göstermektedir. Bu durum 1992 öncesinde de merkez ilçelerde benzer bir dağılım olduğunu göstermektedir.



Şekil 2.16. Yapı izin verilerine göre Sakarya merkez ilçeleri için bina dağılımı.

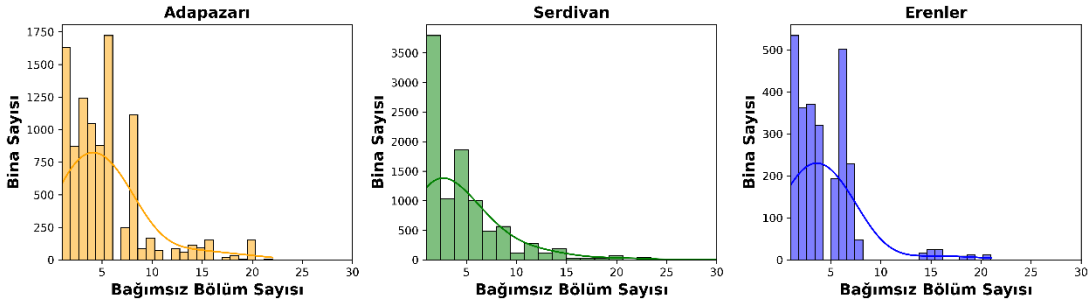
Şekil 2.17'de kat sayıları incelendiğinde izin verilerinin SBB verilerinden özellikle de Serdivan ve Adapazarı ilçesindeki dağılımlardan farklı olduğu görülmektedir Şekil 2.3. İlçelerin kat dağılımındaki ortalama ve standart sapma değerleri incelendiğinde Adapazarı ilçesinin ortalama değeri 1992 öncesi verilerle %8.68 azalmıştır ve standart sapma değerinde önemli bir değişiklik olmamıştır. Serdivan ilçesinin ortalama kat sayısı %6.63 azalmış, Erenler ilçesinin de %1.31'lik bir artış gerçekleşmiştir. 1999 Kocaeli depreminin yasal etkileri özellikle kat sayısını nezdinde gözlemlenmiştir



Şekil 2.17. 1992-2023 İzin istatistiklerine göre kat sayısı dağılımları.

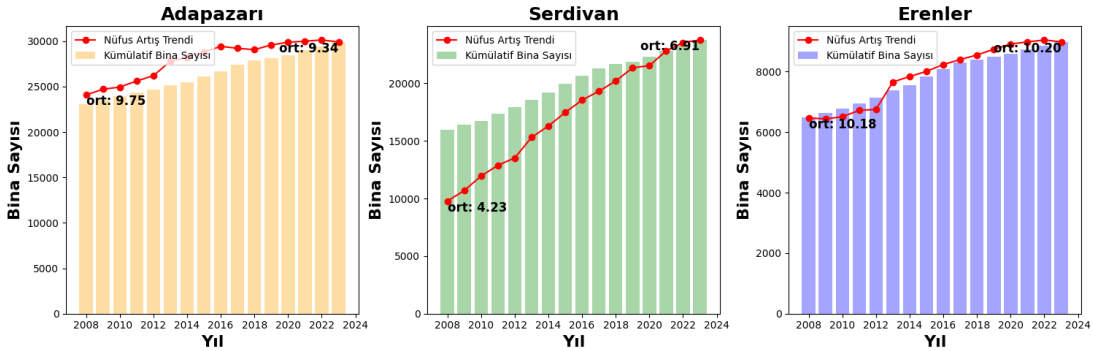
Yapı izin istatistiklerinden elde edilen veri setinde bağımsız birim sayısı bina türlerine göre toplanılmış olarak geldiği için bina başına düşen bağımsız birim sayısını bulmak için ayrıştırma işlemi yapılmıştır. Şekil 2.18'de bu ayrıştırma işlemi sonucu elde

edilmiş dağılım mevcuttur. Ayrıştırma işlemi gereği bazı bağımsız birim değerleri yukarı ve aşağı yuvarlama nedeniyle kaybolmuştur. Ancak istatistik değerler ayrıştırma yapılmadan elde edildiği için dağılımın doğası bozulmamıştır. Adapazarı ilçesinde 1992 öncesi binaların etkisi, bağımsız birim ortalamasını %12.72 azaltmıştır. Bu değişim Serdivan ilçesinde %35.28 artış sağlarken Erenler ilçesinde %12.01'lik bir artış gerçekleşmiştir.



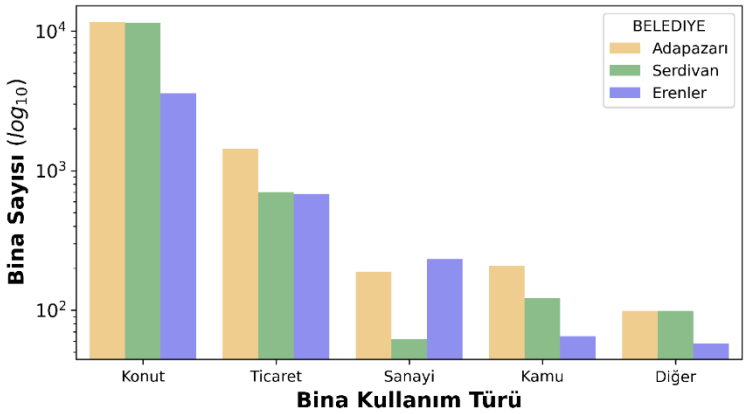
Şekil 2.18. 1992-2023 İzin istatistiklerine göre bağımsız bölüm sayısı.

İzin istatistikleri sadece bina inşa bilgilerini içerdiği için binalardaki yaşayan sayısı hakkında bilgi yoktur. Ancak ilçe düzeyinde yıllara göre nüfus sayımları Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi'nde (ADNKS) mevcuttur. Bu bilgiler ışığında bir binada yaşayan ortalama insan sayısı, belediye düzeyinde toplam nüfusun ilçe sınırları içerisinde bulunan bina sayısına bölünmesiyle elde edilmiştir. Şekil 2.19'da görüldüğü gibi 2008'den itibaren bir binada yaşayan ortalama insan sayısındaki değişkenlik görülmektedir. 2023 güncel verilere göre Adapazarı ilçesinde bir binada yaşayan ortalama kişi sayısı 9.34 kişi, Serdivan ilçesinde 6.91 kişi ve Erenler ilçesinde ise 10.20 kişi olarak hesaplanmıştır. Ancak grafikten de okunduğu gibi bu oranlar yıldan yıla değişmekte yani bina miktarlarının artış hızıyla nüfusun büyüme hızı aynı oranda gitmemektedir. Özellikle Serdivan ilçesinde 2008 nüfus verilerine göre bir binada yaklaşık 4.23 kişi yaşamaktayken 2023 yılında bu oran 6.91'e çıkmıştır. Buda bize yeni yapılan binalarla birlikte doluluk oranının Serdivan ilçesi için arttığını göstermektedir. Adapazarı ve Erenler bölgesi için incelenen yıllar arasında ciddi bir değişiklik gözlenmemektedir.



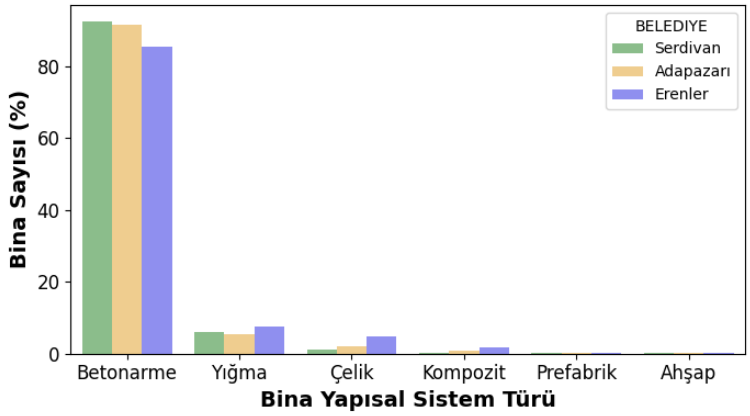
Şekil 2.19. 2008-2023 Bina sayısı ve nüfus artışı arasındaki ilişki.

Şekil 2.20'deki bina kullanım türleri karşılaştırıldığında SBB veri setiyle benzer bir dağılım gösterdiği görülebilir. En büyük fark izin istatistiklerinde Serdivan ilçesindeki sanayi yapılarının oransal olarak daha düşük olmasıdır. Bunun sebebi 1992 öncesi inşa edilmiş sanayi yapılarının Serdivan bölgesinde daha yoğun olarak bulunması olabilir.



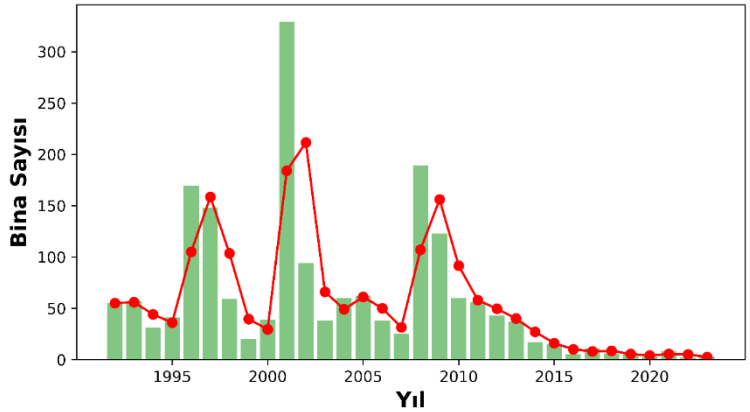
Şekil 2.20. 1992-2023 Yapı izinlerine göre kullanım türleri.

Binaların taşıyıcı sistem sınıflarına bakıldığında Şekil 2.8'de verilen dağılımlardan daha farklı bir dağılım oluştuğu görülmektedir Şekil 2.21. 1992 sonrası inşa edilmiş binaların taşıyıcı sistem dağılımlarında Betonarme taşıyıcı sistem türü oranının arttığı, yığma ve ahşap sistemlerin azaldığı görülmektedir. Yapı izin istatistiklerine göre Betonarme sistemlere sahip binalar tüm sistemlerin %90.92'sini oluşturmaktadır. En çok kullanılan ikinci taşıyıcı sistem olan yığma sistemler ise 1992 öncesi verilerini de kapsayan SBB veri setine göre %19.63'iken yapı izin istatistiklerine göre bu oran %6.02'ye düşmüştür.



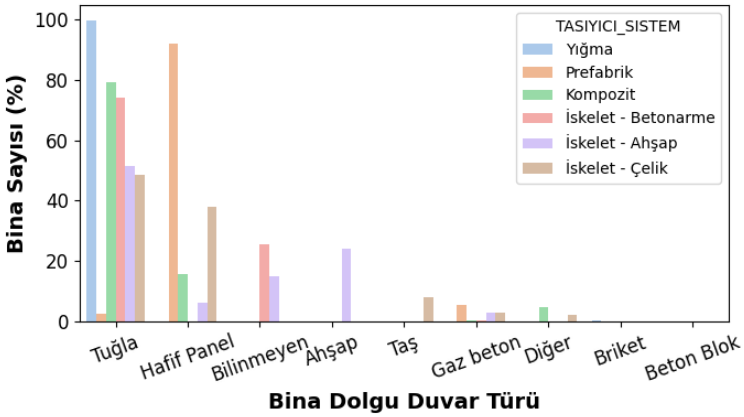
Şekil 2.21. 1992-2023 Yapı izinlerine göre yapısal sistem türleri.

Taşıyıcı sistemlerdeki yıllık değişim yapı stoğunun tahmini için önemli olabilmektedir. Şekil 2.22'de gösterildiği gibi yıllık dağılımlarda 2007 sonrası merkez ilçelerin yığma bina inşası ciddi bir şekilde azalışa geçmiştir. Bu tarihten öncesi için dağılımda belirgin bir davranış mevcut değildir.



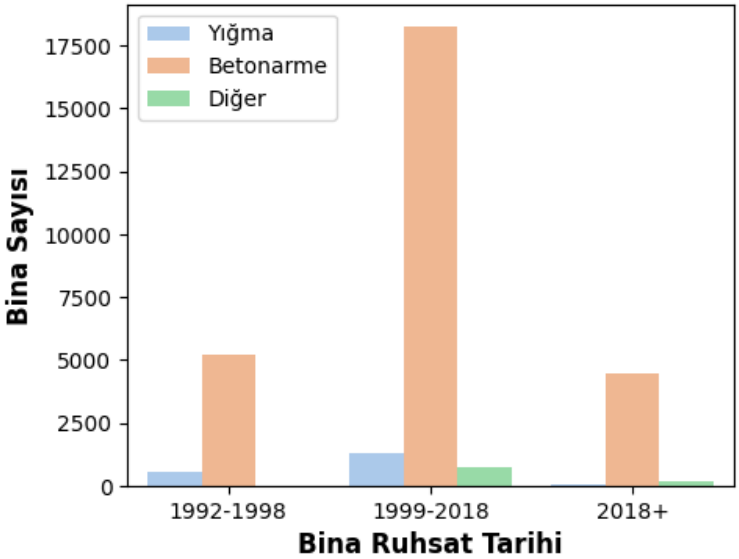
Şekil 2.22. Yığma sisteme sahip binaların yıllık dağılımları.

Yapı izin istatistiklerinden elde edilmiş dolgu duvar dağılımlarının taşıyıcı sistemlere göre dağılımları Şekil 2.23'te verilmiştir. SBB yığma binaların duvar türlerindeki dağılımına benzer bir şekilde en çok kullanılan duvar malzemesi %83.05 ile Tuğla olmuştur Tuğladan sonra en fazla kullanılan malzeme oransal olarak Prefabrik, Kompozit ve Çelik taşıyıcı sistemlerde sıklıkla kullanılmış olan Hafif Panel türü duvardır. Yine SBB verileriyle tutarlı bir şekilde merkez ilçeler incelendiği için taş gibi yerel malzemelerin kullanımı oldukça düşük gözükmektedir.



Şekil 2.23. 1992-2023 arası inşa edilmiş binalardaki dolgu duvar türleri.

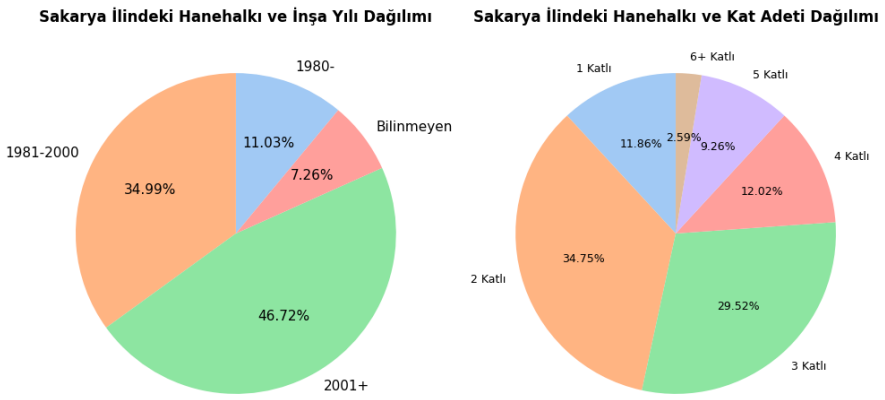
Yapı izin istatistiklerinde son olarak incelenecek özellik yapı inşa yıllarını, bulunduğu deprem yönetmeliği tarihlerine göre dağılımıdır Şekil 2.24. Verilen grafikteki dağılım Şekil 2.15 SBB veri dağılımına benzer olduğu görülebilir. Yalnızca 2018 sonrası binaların oranı diğer kategorilere göre daha düşük gözükmektedir. Yapı izin istatistiklerinin belirtilen tarihler arasında tam olduğu düşünüldüğünde SBB verilerinde 2018 öncesi yıl bilgilerinde bir miktar eksiklik olduğu anlaşılabilir.



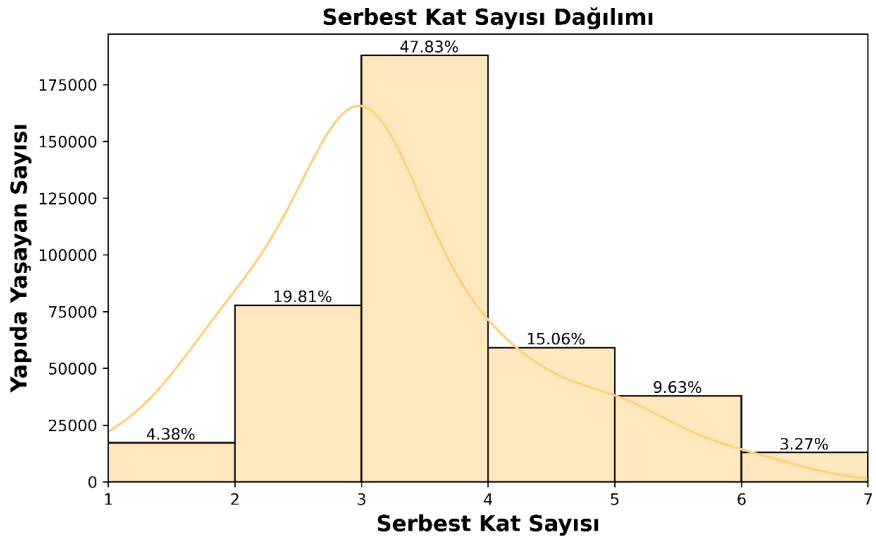
Şekil 2.24. Yapı izin istatistiklerine göre yapı inşa yılı dağılımı.

Türkiye İstatistik Kurumu 27 Aralık 2022 tarihinde yayınladığı Bina ve Konut Nitelikleri Araştırması kapsamında il düzeyinde konut ve nüfus ile alakalı çeşitli bilgiler paylaşmıştır. Tüm bina stoğuna ilişkin özellikleri toplamaya yetecek izin kayıtları bulunmadığı için bu alandaki bilgi eksikliğini gidermek için TÜİK tarafından Bina ve Konut Nitelikleri Araştırması (BKNA) 2021 yılında gerçekleştirilmiştir. Bu

çalışmada toplanan örneklem yapısıyla il düzeyinde istatistiksel tahminler yapılmıştır. Şekil 2.25'te görüldüğü gibi dağılımlar hane halkı oranlarına göre verilmiştir. 2021 verilerine göre Sakarya nüfusu 1,060,874 kişidir ve o yıldaki nüfusa göre 1980 öncesi binalarda yaklaşık olarak 116,966 kişi 1981-2000 arasında inşa edilmiş binalarda 371,165 kişi 2001 sonrası inşa edilmiş binalarda ise 495,675 kişi yaşamakta ve 77,067 kişinin de hangi yıl inşa edilmiş binada yaşadığı bilinmemektedir. Şekil 2.19'da merkez ilçeler için verilen bir binada yaşayan ortalama kişi sayısı hakkındaki bilgiyi tüm Sakarya ili için kullanıldığında 2001 sonrası yapı izni almış bina sayısı 55,914, bu binalarda yaşayan toplam kişi sayısı 495,657, bu binalarda ortalama yaşayan kişi sayısı ise 8.86 çıkmaktadır. SBB verilerine göre ise merkez ilçelerdeki tüm yapılar hesaba katıldığında bir binada yaşayan ortalama kişi sayısı 9.09 kişi çıkmaktadır. SBB doluluk oranları sonucunda iki adet belirsizlik mevcuttur. Birincisi SBB verileri sadece merkez ilçelere dayanmaktadır ve özellikle kırsal bölgelerdeki istatistikleri dikkate almamaktadır. İkinci belirsizlik ise SBB verilerinde 2001 sonrası bina doluluk oranlarını tanımlayabilecek tamlıkta bir inşa yılı bilgisi bulunmamaktadır. Veri eksikliğinden kaynaklı bir belirsizlikte BKNA'nın nüfusun %7.26'sının hangi inşa yılına ait binada oturduğu bilinmemesinden kaynaklanmaktadır. Buna rağmen bir binada yaşayan kişi sayısı oranlarında yakınlık bulunmaktadır. BKNA verisindeki hane halkının kat adeti dağılımı incelendiğinde 2021 Sakarya nüfusuna göre 1 katlı binada yaşayan 125,826 kişi, 2 katlı binada yaşayan kişi sayısı 368,638 kişi, 3 katlı binada yaşayan kişi sayısı 313,205 kişi, 4 katlı binada yaşayan kişi sayısı 127,498 kişi, 5 katlı binada yaşayan kişi sayısı 98,266 kişi ve son olarak 6 ve üzeri binada yaşayan sayısı 27,440 olarak hesaplanmıştır. Ancak Şekil 2.26'de verilen SBB veri setindeki dağılım incelendiğinde sadece merkez ilçelerdeki dağlımın 1.kat ve 2.kat oranlarını azaltarak 3.kat oranına aktardığı görülebilir.



Şekil 2.25. BKNA'ya göre Sakarya ilindeki hane halkının dağılımları.

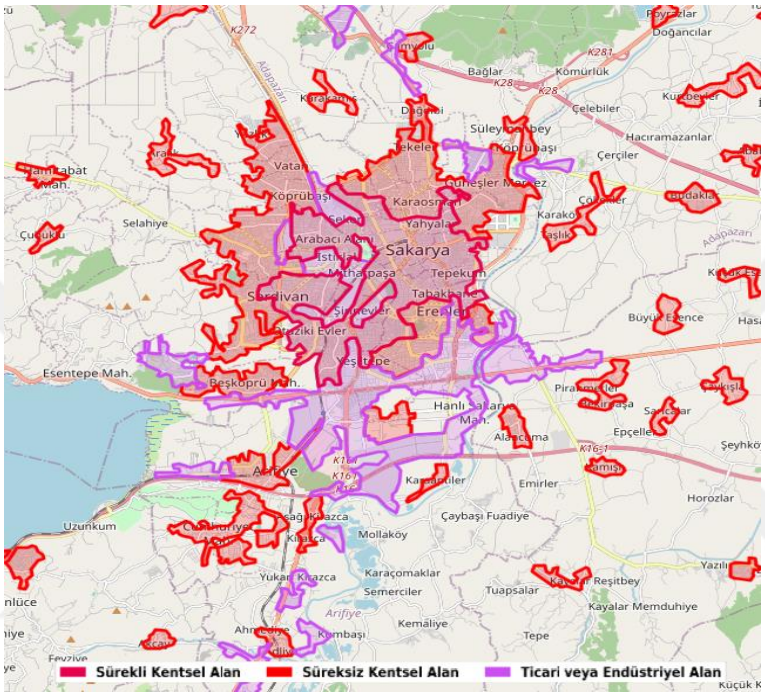


Şekil 2.26. SBB verilerine göre hane halkının kat sayısına göre dağılımı.

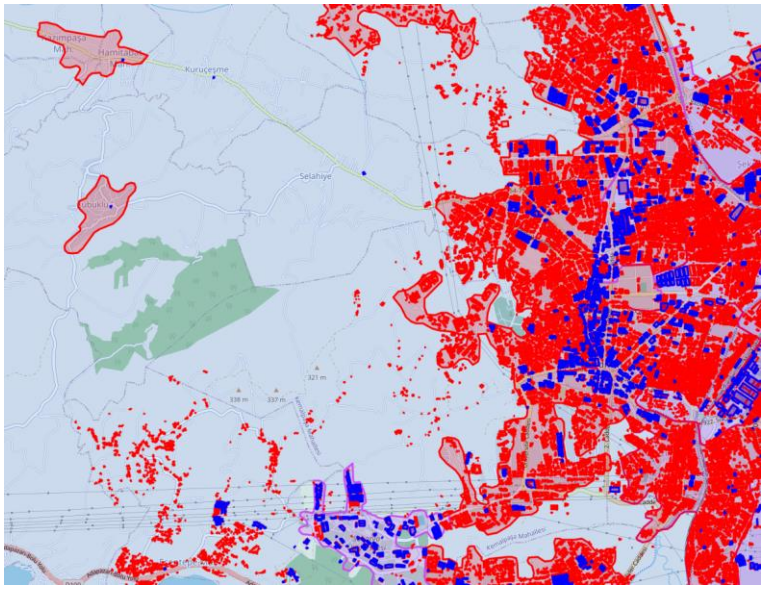
2.3. Çevresel Bilgi Koordinasyonu (CORINE) Veri Seti

CORINE veri seti, uydu görüntülerini bilgisayar destekli görüntü işleme metotlarıyla işleyerek ve Avrupa Çevre Ajansı (AÇA) tarafından belirlenmiş sınıflandırma sistemlerini kullanarak oluşturulmuş arazi örtüsü verisidir (CORINE Land Cover 2018 2020). AÇA tarafından belirlenmiş beş sınıf arazi örtüsünü tanımlamaktadır. Bunlar; insan eliyle oluşturulmuş şehir yapılarını, endüstriyel ve maden gibi alanları belirten "Yapay Bölgeler", ekilebilir ve mera gibi alanları belirleyen "Tarımsal Alanlar", orman alanlarını sınırlayan "Orman Alanlar", sulak alanları sınırlayan "Sulak Alanlar" ve "Su Kütleleri" poligonlarıdır. CORINE verilerine göre Sakarya ilinde binaları kapsayan alanlar toplamda 17,156.85 hektar alana karşılık gelmektedir. Sadece üç

merkez ilçeyi kapsayan alanlar ise 6,000 hektarlık bir alana karşı gelmektedir. SBB verilerine göre ise bu alan yaklaşık 8,000 hektarlık bir alanı sınırlamaktadır Şekil 2.27. Bu örtüler arasındaki asıl fark Serdivan ilçesinin oluşturduğu süreksiz kentsel alanlarıdır. SBB verisiyle oluşturulan kentsel örtü sürekli poligon olarak elde edilmiş olmasına rağmen CORINE örtüleri daha gerçekçi olarak süreksiz kentsel alanları tespit etmiştir Şekil 2.28.



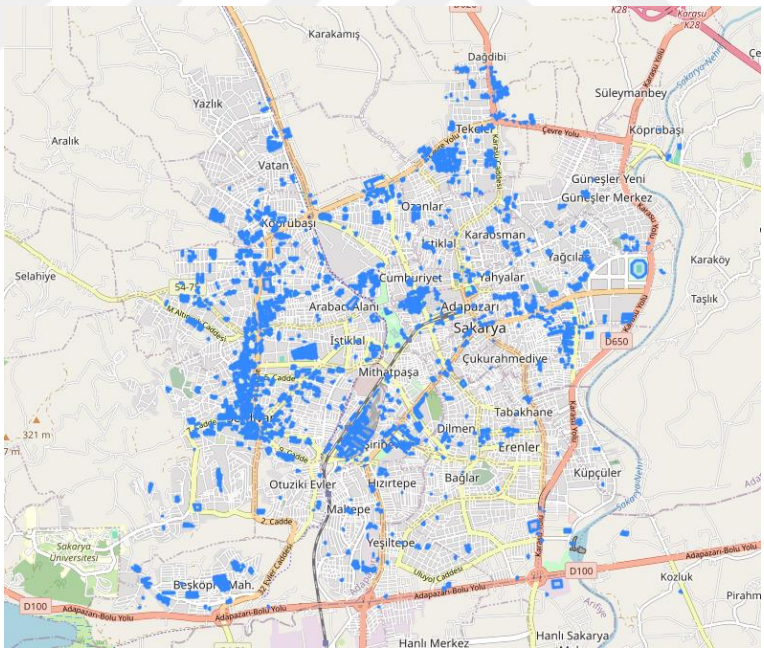
Şekil 2.27. Sakarya sınırları içerisindeki CORINE yapay arazi örtüleri.



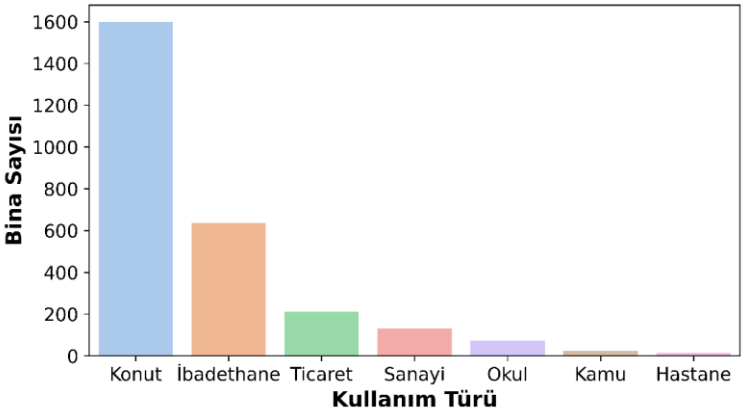
Şekil 2.28. Serdivan ilçesi içerisindeki süreksiz kentsel bölgeler.

2.4. OpenStreetMap (OSM) Veri Seti

OSM kullanıcılar tarafından harita etiketlemeleri yapılan açık kaynak coğrafi veri platformudur (OpenStreetMap Wiki, n.d.). Kullanıcılar tarafından GPS, fotoğraf veya manuel girdilerle araç yolları, insan yapıları ve yer sınıflamaları yapılabilmektedir. Ulusal maruziyet modelleri oluşturulurken veri eksikliğinin giderilmesi noktasında potansiyeli yüksek bir araç olarak ilk başvurulan kaynaklardan birisini oluşturmaktadır. Sakarya ili üzerindeki özellikleri incelendiğinde ilgilenilen merkez ilçelerde toplam 3,042 bina kaydı mevcut ki bu SBB verisinin %4.85'ini kapsamaktadır Şekil 2.29. Tüm Sakarya il sınırlarında ise toplam 11,863 bina bulunmaktadır. Binalarda daha çok kullanım türüne göre özellikle de önemli yapılara (hastane, okul, ibadethane vb.) etiketleme yapılmıştır. Fakat maruziyet modeline hizmet edecek konut, ticaret ve endüstri yapılarının etiket sayıları yetersiz kalmaktadır. Şekil 2.30'da kullanım türlerinin dağılımları verilmiştir. Kullanıcıların önemli yapıları etiketleme yöneliminden dolayı diğer veri setlerinden farklı bir değer olarak grafikte ikinci sırada ibadethaneler sınıfı çıkmaktadır.



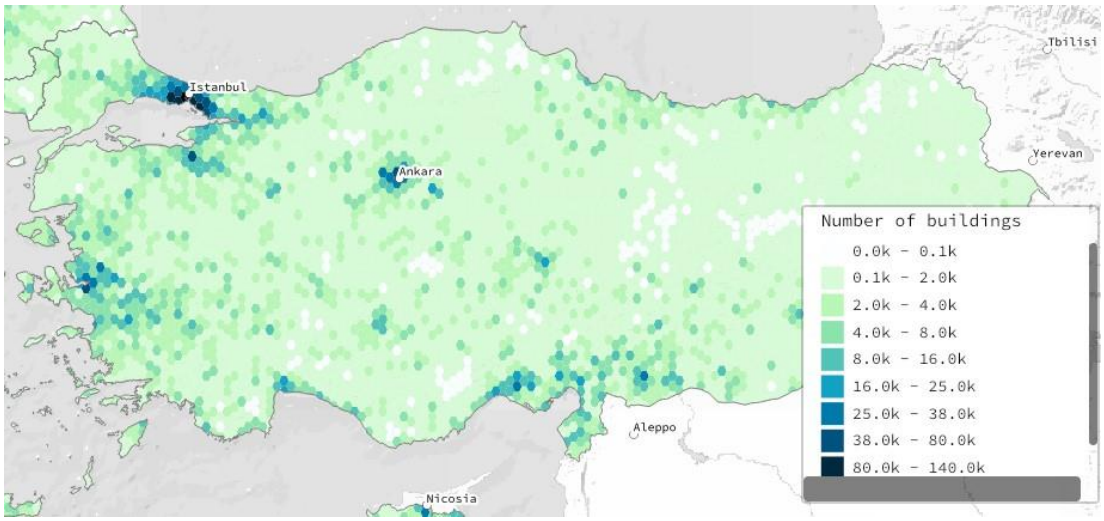
Şekil 2.29. OSM Sakarya merkez ilçerlerdeki bina dağılımları.



Şekil 2.30. OSM'e verisine göre bina kullanım türlerindeki dağılım.

2.5. Avrupa Maruziyet Modeli (ESRM20)

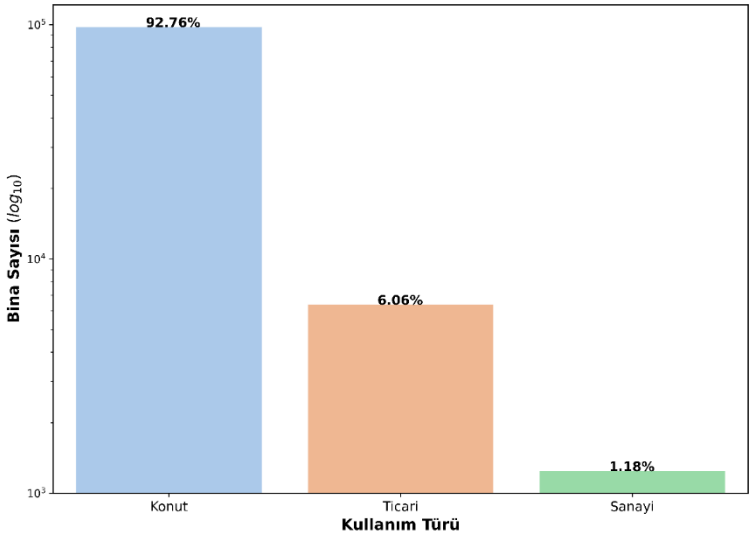
Avrupa için Sismoloji ve Deprem Mühendisliği Araştırmaları (SERA) projesinin bir parçası olarak kamuya açık bilgi kaynaklarına ve Global Deprem Veri seti (GED4GEM) projesinde başlatılan faaliyetlere dayanarak 44 Avrupa ülkesi için konut, ticari ve endüstriyel binalar için bina sayısı, bina sınıfı, bina alanları, yaşayan sayısı ve mekânsal dağılımlarla ilgili veriler toplanmıştır (Crowley ve ark., 2021). Oluşturulan bu global veri seti herkese açık bir kaynak olarak paylaşılmıştır Şekil 2.31 (Crowley ve ark, 2020). ESRM20 ülkemiz için TÜİK verilerinden, yerel uzmanlardan ve GED4GEM kapsamında elde edilmiş verilerden faydalanarak aşağıda sunulmuş bina özelliklerinden oluşturmuştur.



Şekil 2.31. ESRM20 Maruziyet modeli.

ESRM20 veri seti en düşük bölgeleme olarak il sınırlarını kullanmaktadır. Sakarya sınırları içinde toplam 105,326 bina elde etmiştir. Bu değer TÜİK 1992-2023 yapı izin

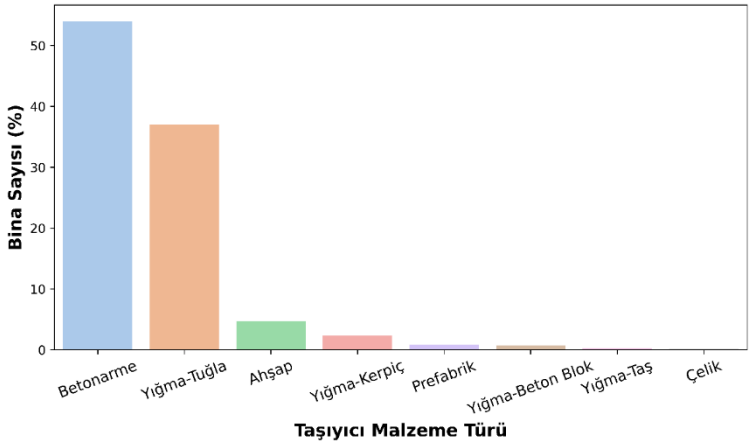
istatistiklerinden elde edilen bina sayısının 1.27 katı, sadece merkez ilçeleri barındıran SBB'de verilen bina sayısının ise 1.68 katıdır. Bağımsız bölüm sayısı olarak sadece konut binalarında 240,656 birim tanımlamıştır. Bu değer SBB veri setinde bağımsız birim sayısının %28.92'si, TÜİK'teki değerin ise %81.00'dir. TÜİK izin verileri eksik veri olmasına rağmen ESRM20, 1992-2017 yılları arasındaki verileri kullandığı için bağımsız birim sayısını TÜİK verisinden daha düşük değerde çıkarmaktadır. Şekil 2.32'de bina kullanım türlerinin dağılımları verilmiştir. Konut dağılımı %92.76'dır, bu değer SBB verisinde %85.37, TÜİK verisinde ise %88.13'tür. Ticari binalar ESRM20 verisinde %6.06 iken SBB verisinde %7.51, TÜİK verisinde ise %7.27'dir. Son olarak endüstriyel kullanımda ESRM20 verisinde tüm bina stoğunun %1.18, SBB verisinde ve TÜİK verisinde %2.31'dir. Grafiklerden de anlaşılacağı üzere dağılımlar birbirine oldukça yakındır. Bu benzerliğin sebebi ESRM20 verisinin büyük oranda TÜİK verisine dayanmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 2.32. ESRM20 Sakarya ilindeki binaların kullanım türü dağılımları.

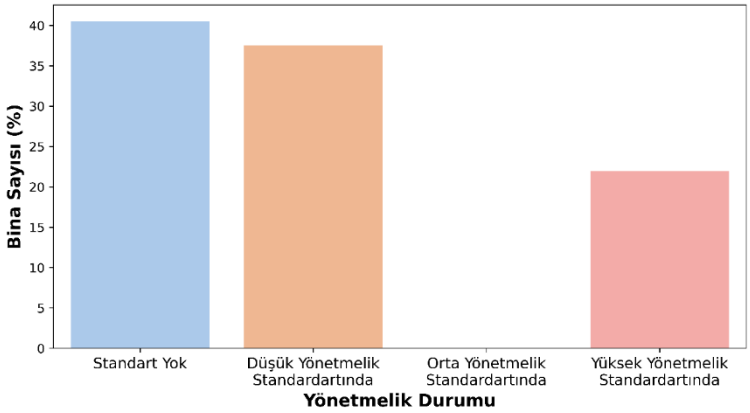
Avrupa maruziyet modeli kapsamında sunulan verilerdeki bir diğer önemli özellik ise Şekil 2.33'te dağılımı verilen taşıyıcı malzeme türüdür. Malzeme türündeki bu dağılım diğer veri setlerinden oransal olarak farklıdır. SBB verisinde betonarme binalar %66.26, yığma binalarda ise %19.63'tür. TÜİK verilerinde bu değer betonarme binalar için %90.92, yığma binalarda ise %6.02'dir. TÜİK verileri daha güncel binaları işlediği için diğer iki veri setinden daha yüksek betonarme oranına sahiptir. TÜİK'in 1992 öncesi bina stok bilgisinin katkısını ESRM20 eklemeye çalıştığı için betonarme bina oranı SBB verisinden ve TÜİK verisinden daha az, yığma binalarda ise tam tersi

olarak daha fazladır. Beklenildiği gibi SBB verileri sadece merkez ilçeleri incelediği ve ESRM20 verisi Sakarya'daki tüm bölgeler için tahmin yürüttüğü için kırsal bölgelerin yığma bina oranlarına katkısı ESRM20 verisinde karşılanmaya çalışılmıştır.



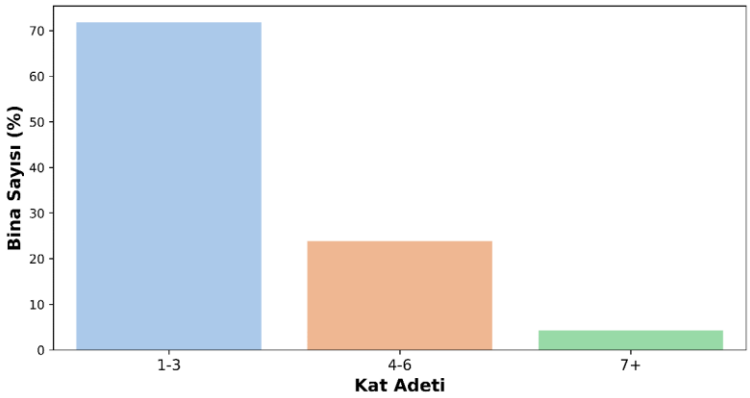
Şekil 2.33. ESRM20 Sakarya ilindeki binaların taşıyıcı malzeme türü.

Şekil 2.34'de binaların inşa edildiği yönetmelik durumlarının dağılımları verilmiştir. Kullanılan veri setlerinden farklı olarak yönetmelikleri yıl olarak değil yeterlilik düzeylerine göre kategorize etmiştir. ESRM20 verisinde dört adet yönetmelik kodu sınıfı bulunmaktadır. Bunlar; hiçbir standarda göre yapılmamış binaları açıklayan "Kodsuz" sınıf, büyük oranda dikey yükleri dikkate alan geçmişte kullanılan "Düşük Yönetmelik Standartları", yatay yükleri de dikkate alan "Orta Yönetmelik Standartları" ve son olarak güncel hesap yöntemlerine göre günümüzde de kullanılan "Yüksek Yönetmelik Standartları". Sakarya genelinde binaların %40.52'sini herhangi bir standarttı olmayan binaları, %37.52'si düşük standartlı binaları ve %21.96'sı ise yüksek standart yönetmeliğine sahip binaları temsil etmektedir. Türkiye'de yürürlüğe girmiş deprem yönetmelikleri incelendiğinde Düşük Yönetmeliğe 1975 ve 1998 arası yürürlükte olmuş ABYYHY-1975 yönetmeliğini, Orta Yönetmeliğe 1998 ve 2018'de yürüklükte olmuş yönetmelikleri ve TBDY-2018'e göre inşa edilmiş binalara da Yüksek Yönetmelik sınıfı denilebilir. Ancak ESRM20 Sakarya bina stoğu çıkarımlarında orta yönetmelik standartlarına bir atama yapmamıştır. Güncel TÜİK verisinde 2018-2023 arasında inşa edilmiş bina sayısı 20,052 iken, ESRM20 verisinde ise yüksek kod etiketli bina sayısı 23,129'dır. 2018 sonrası veri tahminleri tutarlıyken 2018 öncesi için atanmış kod etiketleri ve özellikle de 1975 öncesi binaları tanımlayan Standart Yok etiketinin tüm stoğun %40.52'sini temsil etmesi diğer veri setleriyle uyumlu gözükmemektedir.



Şekil 2.34. Binalara atanan yönetmelik sınıfları.

Kat adeti dağılımı Şekil 2.35'de verilmiştir. Dağılım TÜİK verisiyle oldukça uyuşmaktayken sadece merkezleri hedef alan SBB verisinden bir miktar farklı gözükmektedir. SBB veri setinde 1-3 kat oranı %87.53, 4-6 arası kat adetine sahip bina oranı %12.46'dır.

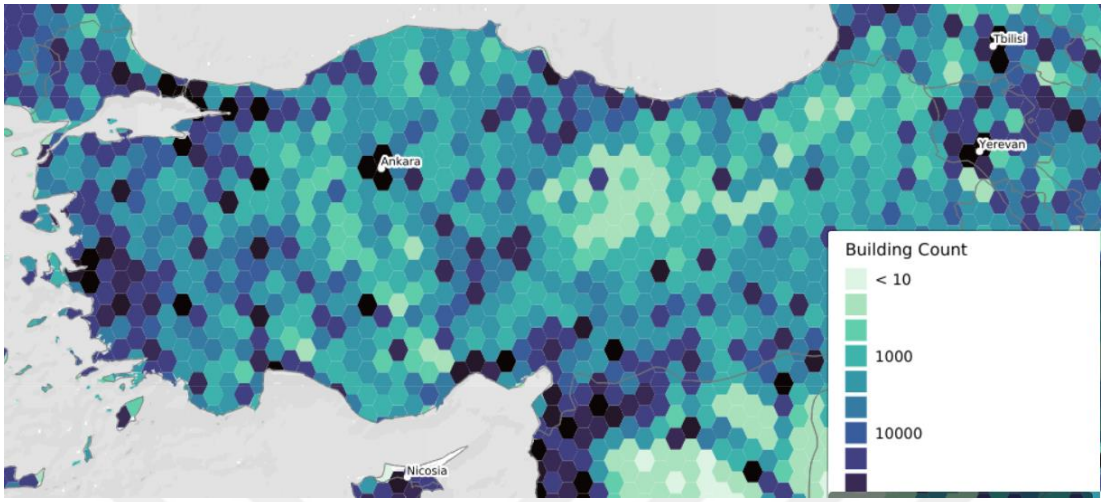


Şekil 2.35. Binalardaki kat adeti dağılımı.

2.6. Küresel Maruziyet Modeli (GEM-EM)

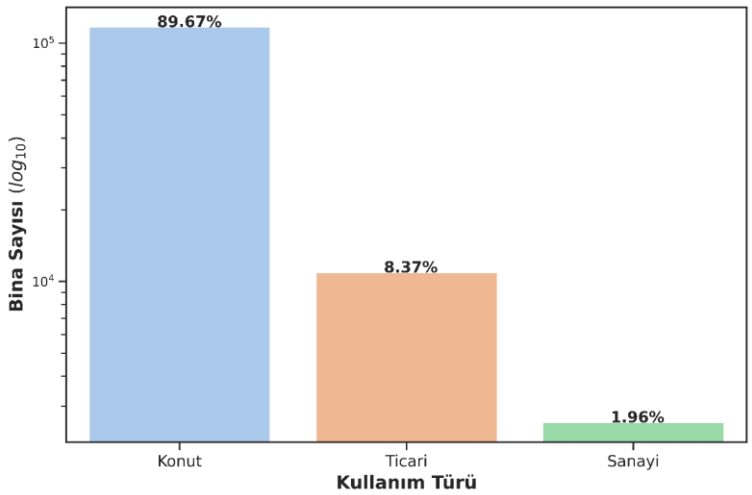
Küresel Deprem Modelleme (GEM) girişiminde geliştirilen Küresel Maruziyet Modeli, her ülkenin elde edilebilir en küçük idari bölümündeki bina stoğuna ilişkin bilgileri içeren yerel ve bölgesel modellerin bir birleşimidir (Yepes-Estrada ve ark., 2023b). GEM-EM veri setinde bina sayısı, sakin sayısı, hasar görebilirlik özelliklerini barındıran bina sınıfları gibi özellikler bulunmaktadır. Bu veriş eti küresel ölçekte sıklıkla güncellenen en büyük maruziyet modellerinden biridir. Türkiye özelinde barındırdığı özellikler yine ESRM20 veri setindeki gibi TÜİK verilerine bağlıdır Şekil 2.26. Ancak daha güncel veriler ve yerel uzman görüşlerine de başvurmaktadır. Sürüm 2023.1'de 2023 Kahramanmaraş depreminde yıkılan binalar kaldırmış ve eşleştirme

şemaları değiştirilmiştir. Bu bölümde Sakarya sınırları içinde yer alan özellikler incelenmiştir.



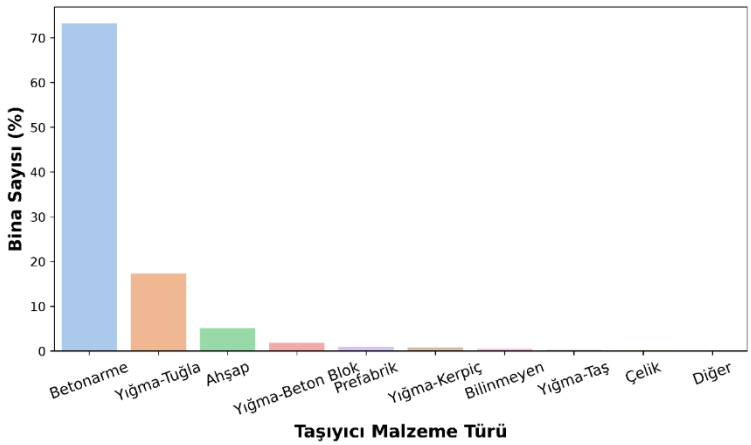
Şekil 2.36. GEM-EM maruziyet modeli.

GEM-EM veri seti içerisinde Sakarya ili için toplam 130,258 bina tanımlanmıştır. Toplam bina ayak izi 3,826 hektarlık bir alanı kapatmaktadır. Bu değer SBB verisinden elde edilen merkez ilçelerde bulunan binaların toplam ayak izinin 3.10 katına karşılık gelmektedir. Şekil 2.37'de Sakarya ili için verilmiş binaların kullanım türlerinin dağılımları verilmiştir. Bu dağılım önceki bölümlerde incelenen veri setlerindeki dağılıma oldukça yakın bir dağılımdır. GEM-EM'in ESRM20'ye göre SBB verisine daha yakın bir dağılıma sahip olduğu söylenebilir ki bu da 1992 öncesi verileri daha iyi tanımladığını göstermektedir.



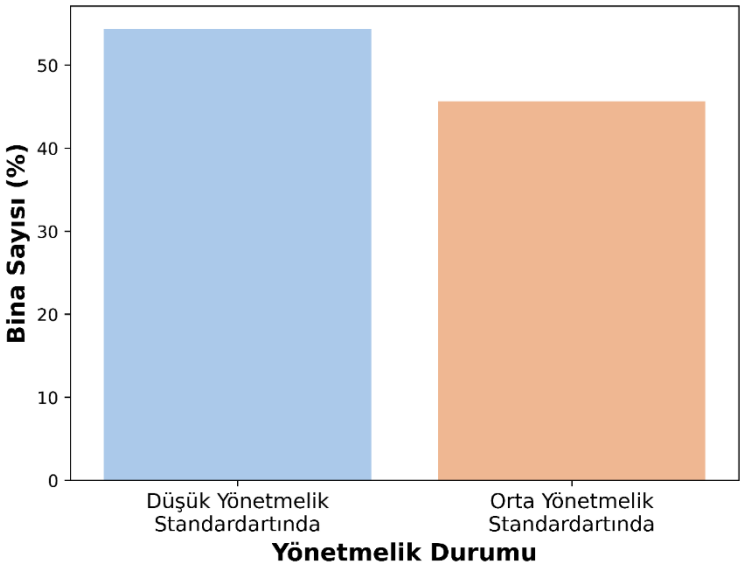
Şekil 2.37. GEM-EM'e göre binaların kullanım türü dağılımı.

Şekil 2.38'de taşıyıcı malzeme türleri incelendiğinde diğer veri setlerinde olduğu gibi en çok kullanılan taşıyıcı sistem malzemesinin betonarme olduğu ve bunu takip eden malzemenin ise yığma sistemlerin oluşturduğu görülmektedir. GEM-EM veri setine göre betonarme sistemler, yapı stoğunun %73.26'sını tüm yığma sistemler ise stoğun %20.06'sını oluşturmuştur. Ahşap yapılar %5.12'yle üçüncü en çok kullanılan yapı malzemesi olmuştur.



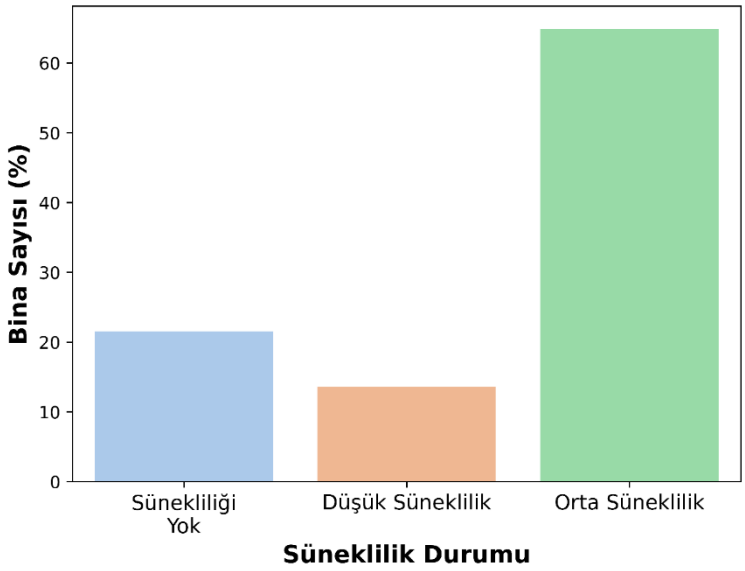
Şekil 2.38. Taşıyıcı malzeme türündeki dağılım.

ESRM20 veri setinde bulunan yönetmelik ataması bu veri seti için de kullanılmıştır. Ancak dağılımı diğer veri setine göre daha tutarlı olduğu Şekil 2.39'da da görülmektedir. Bina yönetmelik türü olarak Sakarya bina stoğunun %54.37'sine düşük yönetmelik standartlarına sahip olduğu ve kalanlarına ise orta standartların uygulandığını varsaymaktadır. Önceki bölümlerde yönetmeliklerin karşılık geldiği yıllar dikkate alındığında, Sakarya genelinde binaların %54.37'si 1998 öncesi yapılmış binaları, %45.63'üde 1998 sonrası yapılmış binaları temsil ettiği söylenebilir. SBB ve TÜİK verileriyle kıyaslandığında bu sonuçta çok büyük bir fark görülmemektedir. Fakat GEM-EM çeşitli aralıklarla güncellenmiş olarak gözükse de temel aldığı TÜİK verileri 1992-2017 arasındaki verilerdir ve ülkemizin güncel koda göre yapılmış binaları ile yenilenmemiştir. Bu nedenle 2018 sonrası inşa edilmiş yüksek yönetmelik standartlarına sahip binaları hesaba katmamaktadır. Bu binaların sayısı TÜİK yapı izinlerine göre Sakarya ili için 20,052'dir ve bu GEM-EM bina stoğunun yaklaşık %15.39'unu oluşturmaktadır.



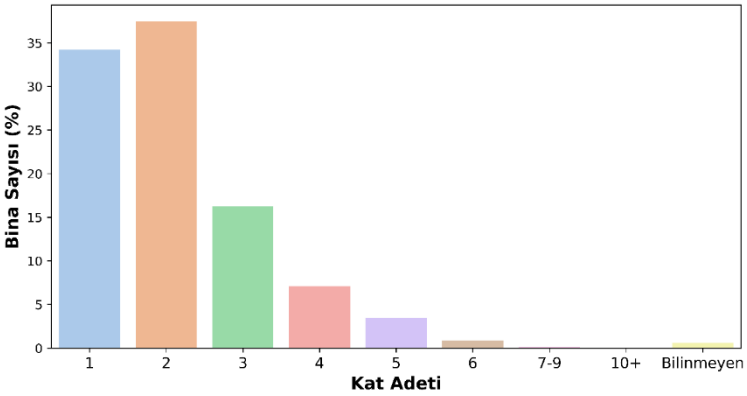
Şekil 2.39. GEM-EM'e göre Sakarya ilindeki yönetmelik dağılımı.

GEM-EM veri setindeki bina sınıflandırmasın da diğer veri setlerinde bulunmayan binanın şekil değiştirme kabiliyetini karakterize eden süneklilik durumları bulunmaktadır. Bu özelliği tanımlamak için dört sınıf süneklilik tanımlamıştır; ilk sınıf olarak binada herhangi bir şekil değiştirme kabiliyeti bulunmadığını varsayan "Süneklilik Yok", ikinci olarak küçük bir şekil değiştirme kabiliyeti olan "Düşük Süneklilik", belirli bir limit değere kadar sünek davranabilen "Orta Süneklilik" sınıfı ve son olarak standartlarla kesinleşmiş bir şekil değiştirme kapasitesi olan "Yüksek Süneklilik". Şekil 2.40'de Sakarya ili içindeki binaların atanmış süneklilik dağılımları verilmiştir. Dağılımda da görülebileceği gibi Yüksek Süneklilik sınıfından herhangi bir atama yapılmamıştır. Benzer bir varsayımı önceki bölümlerde görüldüğü gibi yönetmelik türleri için de benimsenmişti. ESRM20 güncel standartlara göre yapılan binalara yönetmelik sınıfı özelliğinde atıfta bulunurken GEM-EM modelinde böyle bir değerlendirme görülmemektedir. Güncel TBDY-2018'e göre yapılan binaları da geçmiş kod standartlarında tanımlamaktadır.



Şekil 2.40. Süneklilik durumlarına göre bina dağılımları.

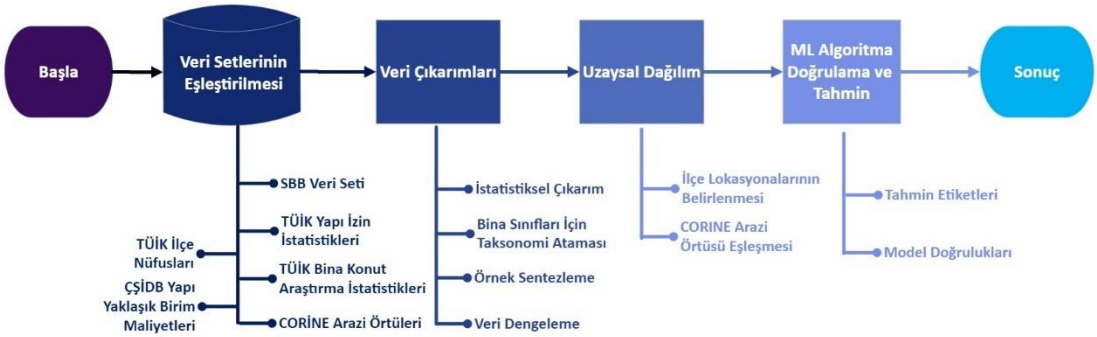
Şekil 2.41'de verilen kat dağılımları incelendiğinde ESRM20'ye göre daha detaylı bir sınıflandırma kullanılmıştır. Dağılım ESRM20'ye göre benzer gözükse de TÜİK ve SBB verisine göre 1. ve 3. kat dağılımları farklıdır. SBB ve TÜİK verilerinde en çok kullanılan ikinci kat sınıfı 3 katlı binalardan oluşurken GEM-EM modelinde bu sınıfı 1 katlı binalar oluşturmaktadır. Ancak unutulmamalıdır ki SBB verisi sadece merkez ilçeleri incelmekte, TÜİK verisi ise 1992 öncesi inşa edilmiş binalardan eksiktir. Yani SBB veri seti düşük kat oranı yüksek olan kırsal alan bilgisinden eksik, TÜİK verisi ise yine düşük kat oranı fazla olan 1992 öncesi inşa edilmiş binalardan eksiktir. Bu nedenle kat sayısındaki dağılım tüm il geneli için tutarlılık göstermektedir.



Şekil 2.41. GEM-EM Sakarya ili içerisindeki binaların kat adeti dağılımı.

3. YAPI MARUZİYETİNİN ÇIKARILMASI İÇİN METODOLOJİ

Önceki kısımlarda veri setlerindeki özellikler ve istatistiksel çıkarımlar açıklanmıştır. Bu kısımda ise maruziyet modelinin oluşturulması için kullanılan yöntemler Şekil 3.1'de verilen akış diyagramına göre sunulmaktadır. Modelin oluşturulmasında ilk olarak kullanılacak veri setlerindeki ortak özellikler belirlenmiştir ve eşleştirilmeleri yapılmıştır. Daha sonra bu özelliklere ortak bir dönüşüm için sınıflandırma taksonomisi uygulanmıştır. Bir sonraki aşamada ise veri setindeki eksikler tamamlanarak tüm Türkiye'nin bina stoğunu temsil eden veri seti oluşturulmuştur. Elde edilen veri setine lokasyon atamaları yapılmış ve yerleşim yerlerindeki yayılımları gerçekleştirilmiştir Son olarak veri setinde bulunmayan özellikleri tahmin etmek için makine öğrenmesi algoritmaları geliştirilmiştir.



Şekil 3.1. Maruziyet modelinin oluşturulması için akış diyagramı.

3.1. Bina Sınıf Atamaları ve Veri Setinin Tamamlanması

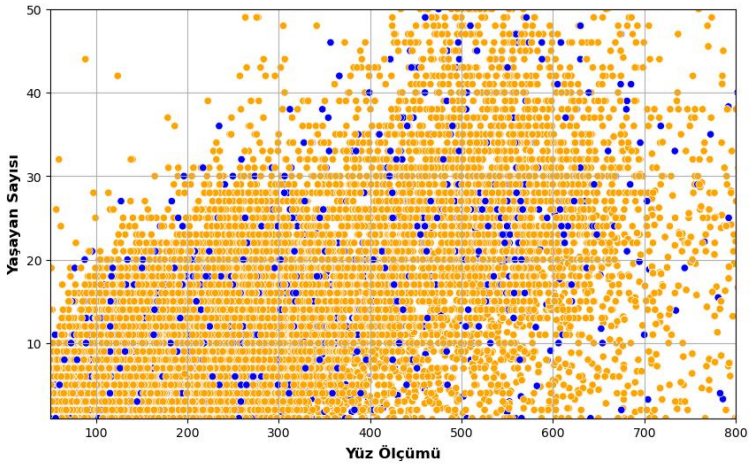
Bu tez kapsamında tam veri olarak kullanılan Sakarya geneli için toplanmış bina verileri ve yarım veri olarak adlandırılabilecek tüm Türkiye'de bulunan ilçeler ölçeğinde 1992-2023 arası yapı izin bilgilerinde bulunan bina bilgileri bina stoğuyla ilgili veri setleri kısmında açıklanmıştır. SBB verisinde ilgili proje gereği daha detaylı bina özellikleri bulunmasına karşın yapı izin istatistikleri bünyesinde daha basit bina fiziksel özellikleri bulundurmaktadır. Bu nedenle ortak bir veri kümesi oluşturulması için özelliklerin birleştirilebilir olması gerekmektedir. Bu iki veri seti için ortak özellikler Tablo 3.1'de verilmiştir. Tabloda da görüldüğü gibi maruziyet için gerekli

özelliklerden inşa yılı ve yaşayan sayısı, her iki veri setinde de tam olarak mevcut değildir. Bu özellikler diğer veri setlerindeki özet değerler ve istatistiksel yöntemler ile tamamlanmıştır.

Tablo 3.1. Veri setlerindeki ortak özellikler.

İlgili Özellikler	Veri Setleri			
	SBB	Yapı İzin Bilgileri	BKNA İstatistik	İlçe Nüfus Bilgileri
İl ve ilçe	✓	✓	Yarım	✓
Taşıyıcı Malzeme	✓	✓	×	×
Yığma Duvar Malzemesi	✓	✓	×	×
Taşıyıcı Sistem Türü	✓	✓	×	×
Kat Sayısı	✓	✓	Özet	×
Kullanım Amacı	✓	✓	×	×
Daire Sayısı	✓	✓	Özet	×
Yüz Ölçümü	✓	✓	×	×
Yaşayan Sayısı	✓	×	Özet	✓
İnşa Yılı	Yarım	✓	Özet	×

Öncelikle SBB verisi içinde bulunan eksik girilmiş değerler diğer özelliklerle bağlantılı olarak çoğaltıldı. Bunu gerçekleştirmek için K-en yakın komşu (KNN) algoritması kullanıldı (Cunningham ve Delany, 2021). KNN algoritması bina örnekleri arasındaki benzerlikleri kullanmaktadır. Ancak kullanılan bina özellikleri sözel kategorik değerler olduğu için matematiksel işlemlerin yapılabilmesi için öncelikle bu değerlerin uygun dönüşümlerle sayısal temsilleri elde edildi. Ardından her bir bina örneğini özellik sayısı kadar boyutlu bir uzayda nokta ataması yapıldı. Eksik olan noktalar için ise bu özellik uzayındaki en yakın yüz komşu noktadan yani bina temsilleri baz alınarak değerler sentezlendi. Şekil 3.2'de sadece yüz ölçümü ve yaşayan sayısı üzerinden üretimler gözükmektedir. Turuncu noktalar gerçek örnekleri mavi noktalar ise üretilen örnekleri temsil etmektedir. Ancak bu üretimler sadece iki özellik ile değil tüm özellik uzayı dikkate alınarak yapılmaktadır.



Şekil 3.2. KNN ile eksik değerlerin tamamlanması.

Eksik veriler tamamlandıktan sonra birleştirilecek özelliklerin aynı kategorik değişkene atama yapılması ve daha genelleştirilmiş bir veri seti oluşturulması için Küresel Deprem Modeli (GEM) girişimi tarafından üretilen küresel bina sınıflandırması kullanılmıştır (Brzev ve ark., 2013). Uygulama sonucu yapılan kategorik değişken için kullanılan sınıflar Tablo 3.2'de verilmiştir. Tabloda CR sınıfı Betonarme binaları, M yığma bina sınıfını, S çelik binaları W ise ahşap yapı malzemesini tanımlamaktadır. Kullanılan duvar malzemesi olarak sırasıyla tuğla, beton blok, taş ve kerpiç malzemeyi tanımlamaktadır. Taşıyıcı sistemler LFINF içi dolu çerçeve sistemi, LWAL taşıyıcı duvarı, LFBR çelik çaprazlı sistemleri, LDUAL ise çerçeve ve perdeli sistemi tanımlamaktadır. LDUAL sınıfı TÜİK değişkenlerinde elde edilemediği için bu sınıfta LFINF sınıfında değerlendirilmiştir. Kullanım sınıfları da sırasıyla konut, ticari, endüstriyel ve diğer toplanma alanlarını ifade etmektedir.

Tablo 3.2. Kategorik değişkenler için atanan sınıflar.

İlgili Özellikler	Kategorik Değişken			
	1	2	3	4
Taşıyıcı Malzeme	CR	M	S	W
Yığma Duvar Malzemesi	CL	CB	ST	ADO
Taşıyıcı Sistem Türü	LFINF	LWAL	LFBR	LDUAL
Kullanım Amacı	RES	COM	IND	ASS

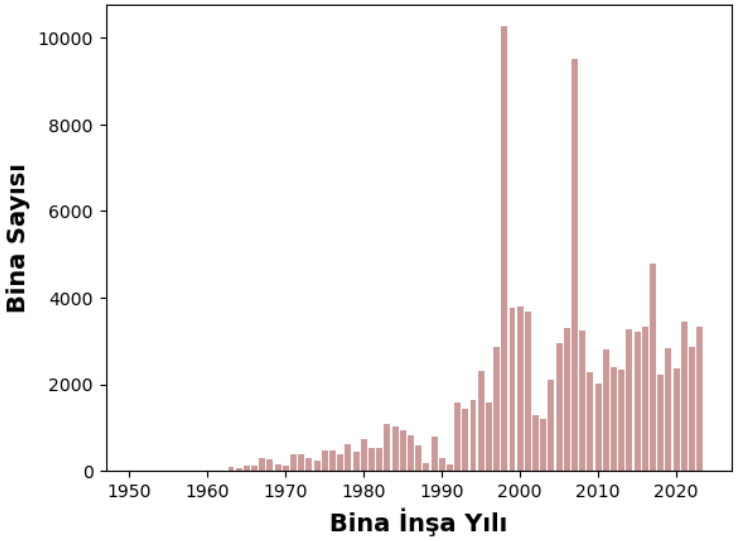
Yapı izin bilgilerinde, binalarda yaşayan kişi sayısına dair bir bilgi bulunmamaktadır. Bu özelliği elde etmek için 2023 yılı Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sisteminden elde

edilen ilçe nüfusları, ilçedeki binaların ortalama daire sayısı ve BKNA bina inşa yılına göre hane halkı dağılımları kullanılmıştır. TÜİK verileri bina sınıflarına toplanmış veriler olduğu için daire sayıları tek bir bina için değil bir bina sınıfındaki toplam daire sayısı olarak verilmiştir. Bu nedenle öncelikle her sınıfa ait daire oranları denklem 3.1'deki gibi hesaplanmıştır. Daha sonra denklem 3.2'de bu oran BKNA verisinde mevcut olan inşa yılına göre hane halkı dağılım oranları ile ilçe nüfusu çarpılmasıyla bina sınıfında yaşayan insan sayısı elde edilmiştir. Bina sınıfları ayrıştırıldıktan sonra son olarak yaşayan sayısı bina sayılarına bölünerek her bina için doluluk oranları elde edilmiştir.

$$Daire\ Ortalaması_{ilçe} = {Daire\ Sayısı}\Big/{\sum_{ilçe} Daire\ Sayısı} \tag{3.1}$$

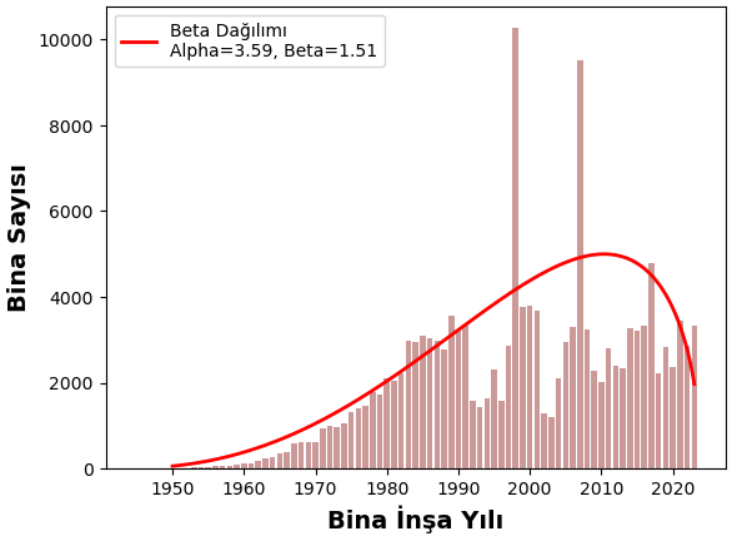
$$Yaşayan\ Sayısı_{Ort} = İlçe\ Nüfusu \times Daire\ ortalaması \times Yıl\ Yüzdesi \tag{3.2}$$

Yapı izin belgesinden üretilecek maruziyet modelindeki en büyük eksiklik hiç şüphesiz veri setinin sadece 1992-2023 arasındaki yapıları temsil etmesidir. 1992 öncesi yapıları üretmek için SBB ve TÜİK setlerindeki yıl dağılımları istatistiksel bir dağılım ile modellenmiş ve bu modele uygun veriler mevcut verilerle aşırı örnekleme yoluyla sentezlenmiştir. Bunu gerçekleştirmek için öncelikle merkez ilçeler için sadece SBB verileri kullanılmış, bu ilçeler dışındaki bölgeler için ise TÜİK verileriyle güçlendirilmiştir. Birleştirilmiş verideki inşa yılı dağılımı Şekil 3.3'de verilmiştir. Şekildeki grafikte de görüldüğü gibi TÜİK'in 1992 öncesi verisi olmadığı için dağılımda eksiklik bu yıllar arasında yetersiz kalmaktadır.



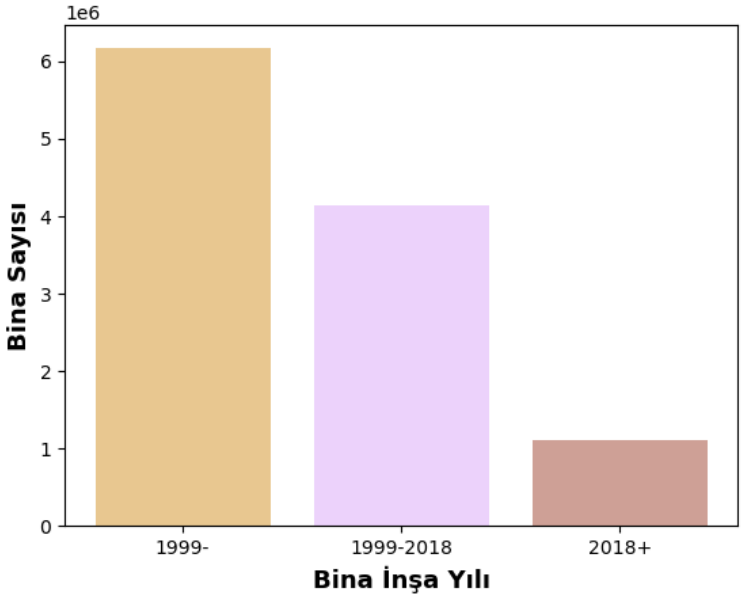
Şekil 3.3. SBB ve yapı izin istatistikleriyle birleştirilmiş inşa yılı dağılımı.

Bu eksikliği doldurmak için mevcut dağılıma bir beta dağılımı oturtulmuştur. Bu beta dağılımı ve Doğal Afet Sigortaları Kurumu (DASK) tarafından verilen toplam konut sayıları kullanılarak Şekil 3.4'te verilen dağılım elde edilmiştir. Bu dağılıma göre Sakarya'daki bina stoğunun %6.54'ü 1976 öncesinde, %41.46'sı 1976 ve 1998 arasında, %42.143'ü 1999-2018 arasında ve %9.85'i 2018 sonrasında inşa edilmiştir. Dağılımda da görülebileceği gibi beta dağılımında 1992 sonrası için hala eksiklikler gözükmektedir. Bu çıkarım yapı izin verilerinin temsil ettiği zaman aralığının da tam olarak doldurmadığını göstermektedir. Bu nedenle veriler sentezlenirken sadece 1992 öncesi için değil aynı zamanda 1992 sonrası içinde gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.4. Sakarya ili inşa yılı dağılımı.

Sakarya geneli için elde edilen bu dağılım tüm TÜİK verisi için kullanılmıştır. 1999 öncesi binalar için 1992-1999 arasındaki veriler 1999 sonrası için ise 1999-2023 arasındaki veriler kullanılmıştır. 1992 öncesi veriler üretilirken yine SBB veri dağılımlarından faydalanılmıştır. Veriler rastgele aşırı örnekleme (ROSE) yöntemine göre ve DASK'ın paylaştığı konut sayıları illerdeki ortalama bağımsız birimlere göre hesaplanan bina sayıları ile türetilmiştir. Tamamlanan veri setinde tüm Türkiye için toplamda 11,409,354 adet bina bulunmuştur. Veri seti içindeki bina yıllarının büyük çoğunluğu sentetik olarak üretilmiş olduğu için doğruluğu artırılmak adına deprem yönetmelik tarihlerini baz alan üç sınıf oluşturulmuş. Bunlar 1999 öncesi yapılar, 1999 ve 2018 arasındaki yapılar ve son olarak 2018 sonrası inşa edilmiş yapılardır. Şekil 3.5'te tamamlanmış verilerden elde edilmiş inşa yılı dağılımı verilmiştir.

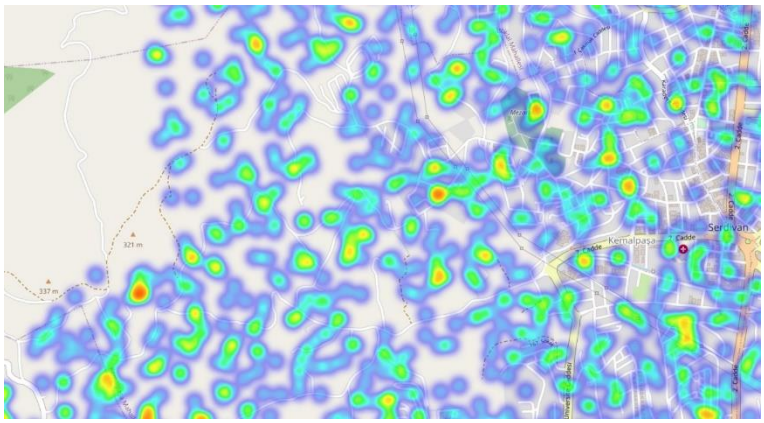


Şekil 3.5. Türkiye bina inşa yılı dağılımı.

Veri setini tamamlamak için yapılan bir diğer işlem ise yeniden inşa maliyetinin hesaplanıp her binaya atanması işlemidir. 85/9707 sayılı Bakanlar kurulu kararı ile yürürlüğe konulan Mimarlık ve Mühendislik Hizmetleri Şartnamesinin 3.2'nci maddesi gereğince, mimarlık ve mühendislik hizmet bedellerinin hesabında kullanılacak 2023/2 yapı yaklaşık birim maliyetleri, belirlenmiş beş sınıf yapı üzerinde metrekare fiyatı olarak paylaşılmıştır. Bu tez kapsamında da geliştirilmiş veri setinde mevcut olan konut, ticari, ibadethane veya kültürel yapılar gibi diğer yapılar, endüstriyel yapılar ve kamu yapıları kat adetine göre bu birim fiyatlar uygulanarak yeniden inşa maliyetleri elde edilmiştir.

3.2. Bina Stoğundaki Yapıların Mekânsal Dağılımları

Maruziyet modellerindeki en büyük belirsizliklerden birisi mekânsal dağılımların bölgenin merkezine olacak şekilde toplanmasından kaynaklanmaktadır. Bu belirsizliğin önüne geçilmesi için çeşitli yöntemler çalışılmıştır. Çalışmalar arasında en çok tercih edilen yöntemler bölgenin merkezine atanan tüm binalarının lokasyon bilgisine bir miktar gürültü oluşturularak saçılmasını sağlamak. Ancak bu yöntem bölgenin karmaşık poligonu üzerine tam dağılamamaktadır. Bu nedenle daha iyi bir saçılım elde edebilmek için popülasyon bilgisi kullanan yöntemler geliştirilmiştir (Dell'Acqua ve ark., 2013). Bu yöntemle en küçük bölge seviyesinde başarılı dağılımlar gerçekleştirilebilmiştir. Yöntemin dezavantajı ise popülasyon bilgisinin her zaman bu kadar küçük bir ölçek için elde edilememesidir. Bir diğer sık kullanılan yöntem ise CORINE yapay arazi örtülerini baz alan yaklaşımlardır (Stefanidis ve ark., 2022). Tez kapsamında da kullanılmış olan bu yöntemde ilçeler üzerinde tanımlanmış olan sürekli ve sürekli olmayan yerleşim alanları içerisine binalar homojen olarak dağıtılmaktadır. Örnek olarak Şekil 3.6'da Sakarya'nın Serdivan ilçe sınırına yakın bir bölgedeki dağılım gösterilmektedir. Yerleşim alanlarının dışarısına çıkıldıkça bina sayıları azalmakta ve durmaktadır. Bu dağılımı sağlamak için önce ilçelere ait koordinat bilgisi açık kaynak haritalarından elde edilmiştir. Elde edilen koordinatlar en yakın CORINE yapay arazi örtüsü poligonunun merkez noktasına atanmıştır. Son olarak aynı poligona sahip binalar homojen olarak sahip olduğu poligona dağıtılarak işlem bitirilmiştir.



Şekil 3.6. Serdivan ilçesi sınırında bina dağılımları.

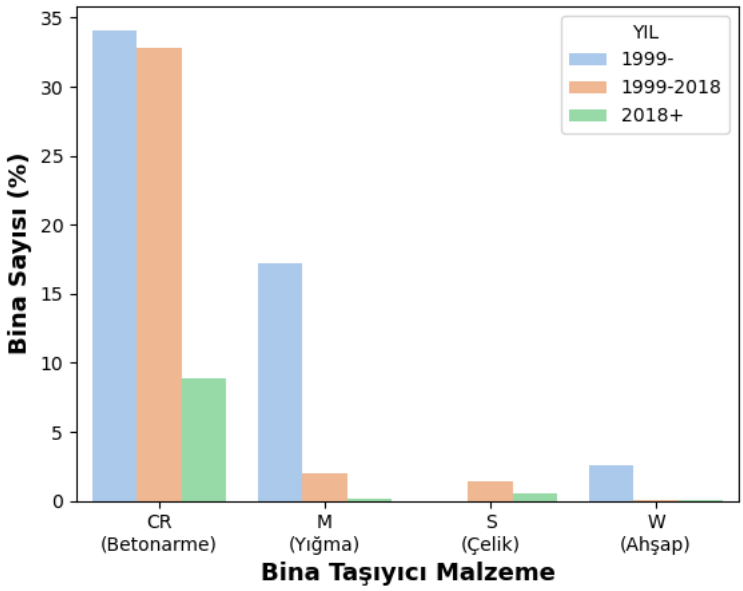
3.3. Makine Öğrenmesi Modelleri

Makine öğrenmesi son zamanlarda istatistiksel çıkarımlar için en çok başvurulan yöntemlerden birisi haline gelmiştir (T Mitchell ve ark., 2003). Özellikler arasındaki karmaşık ilişkiyi anlamlandırma yeteneği sebebiyle mühendislik problemlerine geleneksel yöntemlere göre daha ekonomik ve hızlı çözümler üretebilmektedir. İnşaat mühendisliği alanında kayıp tahminlerinde, yapısal sağlık izleme alanlarında ve görüntü işleme gibi çok çeşitli alanlarda makine öğrenmesi algoritmalarından faydalanılmaktadır (Wu ve Di Sarno, 2023). Bu algoritmaların başarısı işlenecek verinin güvenirliliği ile doğrudan etkilenmektedir (El Naqa ve ark., 2015). Güvenirliği yüksek modeller elde edilebilmesi için verinin toplanma öncesinden işlenme aşamasına kadar iyi anlaşılması ve safsızlığının olabildiğince korunması gerekmektedir. Bu tez kapsamında makine öğrenmesi algoritmalarının eğitilmesi için SBB veri seti kullanılmıştır. Etiket olarak tüm bina türleri için tanımlanmış üç adet düzensizlik özelliği kullanılmaktadır. Bunlar; binanın planında ciddi boşluklar bulunan veya plan simetriğinde ciddi çarpıklık olan binalar için etiketleme yapılan "Planda Düzensizlik", binanın giriş katında ciddi bir açıklık bulunan ve iç duvarları bulunmayan binalara atanan "Yumuşak Kat Düzensizliği" ve binanın komşu binalar ile nizam durumunu belirten "Yapı Nizam Durumu". Etiketlerin hepsi kategorik değişkenler olduğu için kullanılan algoritmada sınıflandırma tahmini yapabilen ve karar ağaçları topluluğu olarak bilinen Rastgele Orman (Random Forest) sınıflandırıcısı kullanılmıştır. Karar ağacı algoritması veri kümesindeki örneklerden ve özelliklerden alt küme yaparak istatistiksel dağılımlardan tahmin üretir (Breiman, 2001). Bu karar ağaçları başarı puanlarıyla ağırlıklandırılıp birleştirilmesiyle ise Rastgele Orman oluşturulur. Algoritmalar Python programlama dilinde oluşturulmuş Sklearn kütüphanesindeki RandomForestClassifier yöntemi kullanılarak oluşturulmuştur. Modellerde 250 adet karar ağacı kullanılmıştır ve bu karar ağaçlarının derinlikleri her model için ayrı olarak optimize edilmiştir. Planda düzensizlik etiketi kullanan modelde derinlik parametresi 3, yumuşak kat etiketini kullanan modelde 8, yapı nizamını kullanan modelde ise bu parametre 14 olarak ayarlanmıştır. Modellerinin eğitimi için ilk iki modelde verinin %50'si eğitim için kalanı ise doğrulama için kullanılmıştır. Sadece yapı nizamı etiketini kullanan modelde öğrenmenin yeterli bir seviyede gerçekleşmesi için verinin %20'si doğrulamada kullanılmıştır. Etiketlerde dengesizlik olduğu için eğitim verisindeki dağılımlar aşırı

örnekleme ile dengelenmiştir. Test verisinde doğal etiket dağılımını sürdürmek için herhangi bir işlem yapılmamıştır. Eğitimi ve doğrulaması tamamlanan modeller tüm veri seti için kullanılarak maruziyet modeline eklenmiştir.

4. SONUÇLAR

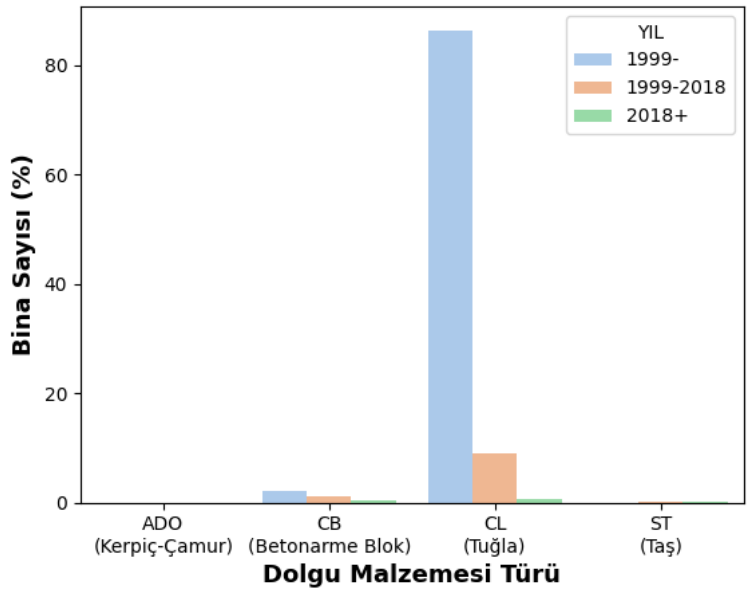
Bu tez kapsamında geliştirilen maruziyet modellerinin sonuçları bu kısımda sunulmuştur. Tamamlanan veri setindeki taşıyıcı malzeme ve bina inşa yılı dağılımı Şekil 4.1'de verilmiştir. Oluşan dağılımda görüldüğü gibi Türkiye bina stoğunda en çok görülen malzeme türü betonarme malzemesidir. Tüm bina stoğunun %75.81'ini oluşturan bu malzeme her deprem yönetmeliği döneminde ana bina malzemesi olarak karşımıza çıkmaktadır. En çok kullanılan ikinci sınıf, tüm stoğun %19.45'inde bulunan yığma sınıfıdır. Yığma binalar 1999 öncesindeki kullanımı tüm yığma binaların %88.71'ini oluşturmaktadır. 1999 sonrasındaki projeksiyonda deprem sonrası kentleşme ve deprem yönetmeliğinin de etkisiyle bu oran %10.29'lara kadar düşmüştür. Çelik yapı dağılımında da 1999 öncesinde önemli sayıda çelik binanın üretilmediği, 1999 sonrası için tüm bina stoğunun %2.00'ını temsil ettiği gözükmektedir. Ahşap yapılarda 1999 öncesinde stoğun %2.6'sında bulunurken yığma binalara benzer şekilde 1999 sonrasında üretimi neredeyse yok denilecek kadar azalmıştır.



Şekil 4.1. Maruziyet modelinde malzeme türünün inşa yıllarına göre dağılımı.

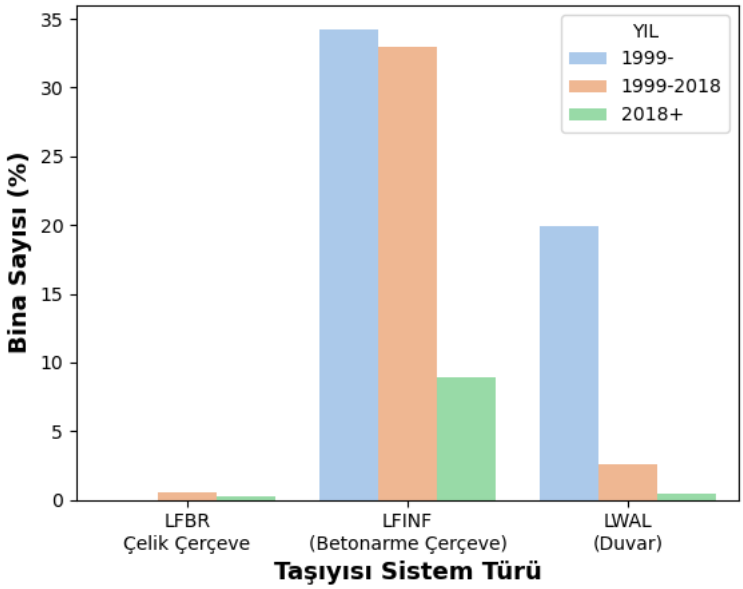
Yığma binalarda kullanılan dolgu malzemeleri incelendiğinde dengesiz bir dağılım karşımıza çıkmaktadır Şekil 4.2. Tüm dolgu malzeme oranın büyük bir kısmı tuğla

malzemesi olarak dağılmakta ve bunu betonarme blok ve taş malzemeleri izlemektedir. Eksik verilerin üretimi sırasında özellikle de 1999 öncesi bina stoğu oluşturulurken SBB merkez bilgileri ve 1992-1999 arası yapı izin bilgileri kullanılmıştır. Kullanılan bu veri setleri yığma binalarının duvar özelliklerini tanımlarken yanlı sonuçlar üretmektedir. Bunun nedeni SBB verisi sadece Sakarya merkezini hedeflediği için merkez dışındaki ilçelerde, özellikle köylerdeki malzeme katkılarını hesaba katmamaktadır. Üretilen yığma malzeme dağılımı ise 1999 malzeme dağılımına yanlı olarak yaklaşmaktadır.



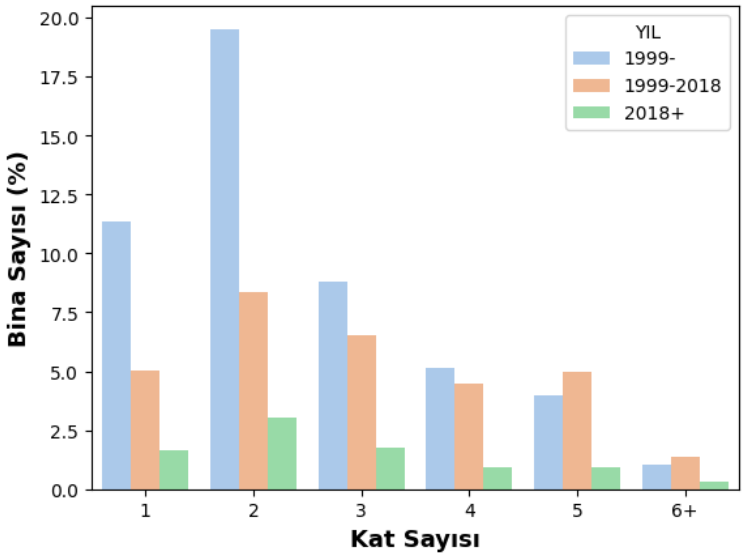
Şekil 4.2. Yığma binalarda kullanılan dolgu malzeme türü.

Taşıyıcı sistem dağılımlarında ise malzeme türündeki dağılımı baz alan bir dağılım görülmektedir. Yapı stoğunun %76.15'i betonarme malzeme kullanılan binaların çoğunluğunda görülen içi dolu çerçeve türü oluşturmaktadır. Bunun dışında kalan betonarme perdeli sistem, yığma sistem, ahşap sistem, prefabrik sistem gibi diğer sistemlerde duvar taşıyıcı sistem görülmektedir. Bu sistemin oranı bina stoğunun %23.06'sını oluşturmaktadır. Geriye kalan çelik çerçeve sistem ise tamamen çelik malzemelerden oluşmaktadır.



Şekil 4.3. Taşıyıcı sistem türünün yıllara göre dağılımı.

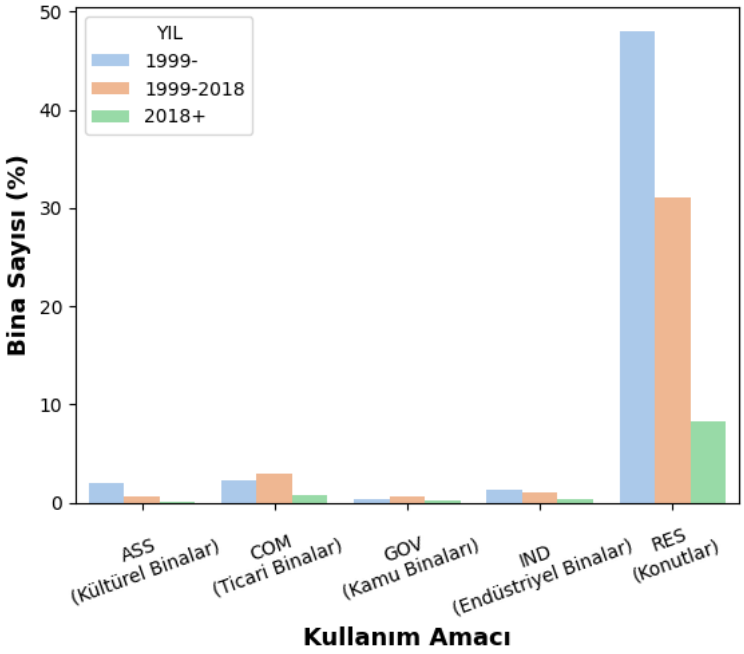
Kat sayı dağılımlarında 1999 öncesinde 1 ve 2 katlı yapıların baskın olduğu ve bu yıldan sonra etkisinin yavaşladığı görülebilir Şekil 4.4. 1999 sonrasında ise yine en çok iki katlı bina inşaları gerçekleştirmiştir. Ancak kat dağılımı 1999 öncesine göre daha homojen gözükmektedir. İki katlı binalar Türkiye yapı stoğunun %30.87'sini oluşturmaktadır. Bunu %18.00 ile bir katlı yapılar, %17.14 ile de dört katlı yapılar takip etmiştir.



Şekil 4.4. Kat sayılarının yıllara göre dağılımları.

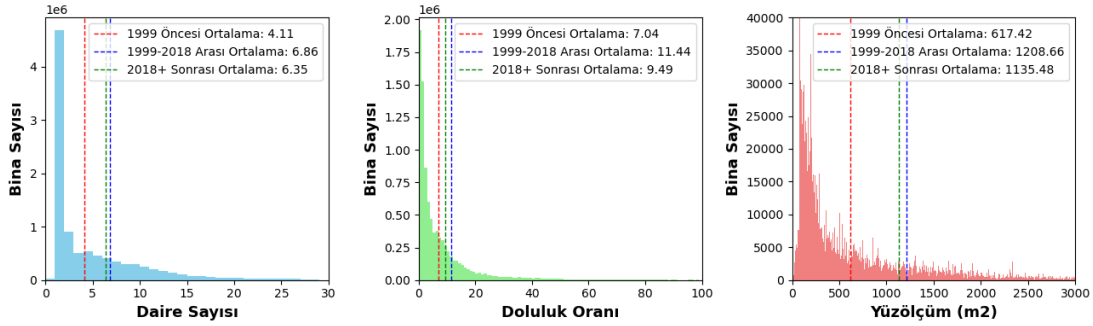
Kullanım amacına Şekil 4.5'teki dağılımlar incelendiğinde Türkiye bina stoğunun %87.46'sı konut olarak kullanılmıştır. Bu oranı %5.94 ile ticari binalar takip

etmektedir. Yıllara göre dağılımlarda ise 1999-2018 arası inşa edilmiş binalarda ticari ve kamu binalarında bir artış gerçekleşmiştir. Diğer bina türlerinde stoğun baskın dönemi yine 1999 öncesi binalar oluşturmuştur.



Şekil 4.5. Kullanım amacının yıllara göre dağılımı.

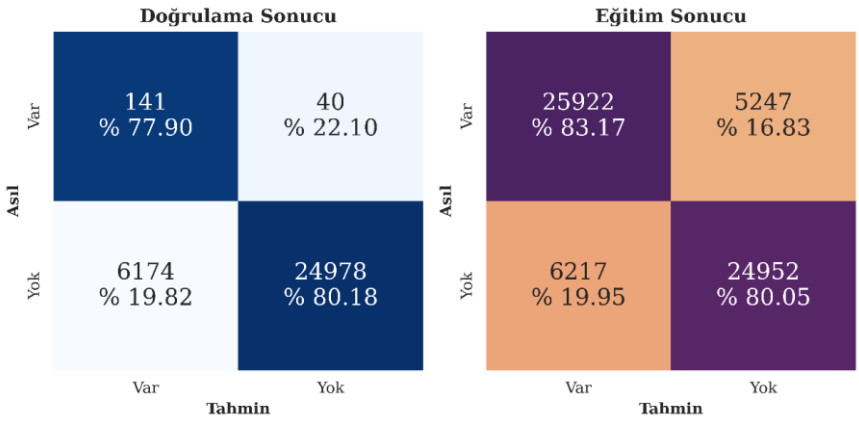
Bir binada bulunan daire sayısı oranlarında ise Şekil 4.6'da 1999 öncesi binalarında ortalama daire sayısı, doluluk oranı ve binanın yüz ölçümü dağılımları verilmiştir. Daire sayısının dağılımı incelendiğinde 1999'dan önce inşa edilmiş binaların daire sayıları 1999 sonrası inşa edilmiş binalara göre daha düşük olduğu görülmektedir. 1999 öncesinde ortalama bina daire sayısı 4.11 iken bu oran 1999'dan sonra 6.86'ya çıkmıştır. Son zamanlarda inşa edilen yapılarda ise bir miktar düşerek 6.35'e gelmiştir. Bu sonuç doğrusal olarak doluluk oranında da kendi belli etmektedir. 1999 öncesi bir binada daire sayısı daha az olduğu için içinde yaşayan hane halkıda daha az çıkmaktadır. Ancak daire başına göre oranlandığında ise 1999 öncesi inşa edilmiş bir binanın bir dairesinde yaşayan ortalama kişi sayısı 4.53 iken bu sayı 1999 sonrası yapılarda 3.49'a düşmektedir. Bina ölçeğinde bakıldığında 1999 sonraki yapılarda daha fazla daire olduğu için bir binada yaşayan sayısı da 1999 öncesi binalara göre daha yüksek çıkmaktadır. Bir binadaki yüzey alanları ise diğer dağılımlara benzer gözükmektedir. 1999 öncesi bir yapının ortalama yüzey alanı 617.42 m^2 iken 1999 sonrası yapılar içinse neredeyse iki katına çıkmaktadır.



Şekil 4.6. Daire sayısı, doluluk oranı ve yüzölçümü dağılımları.

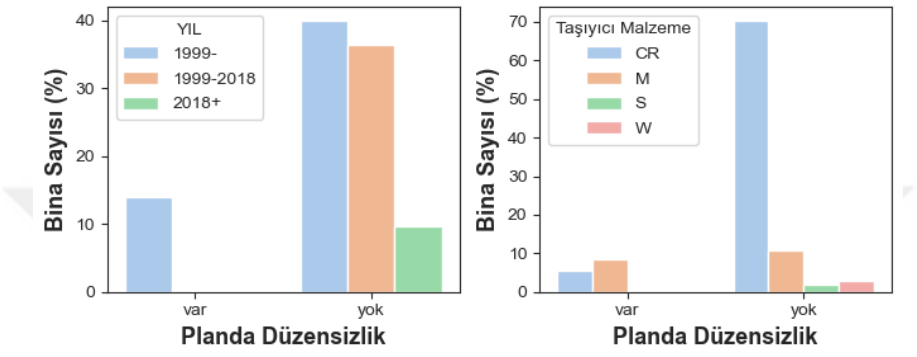
Bina düzensizlikleri ile ilgili bilgiler eğitilmiş makine öğrenmeleri algoritmalarının tüm veri setine yaptığı tahminleri ile elde edilmiştir. Sonuçların güvenirliliği için modellerin SBB verisinden ayrılmış olan eğitim ve doğrulama verisindeki cevapların karışıklık matrisleri incelenmiştir. Burada modellerin performans metriğinin doğrulama verisi olarak adlandırılmasının sebebi oluşturulan veri setinde eğitim ili olan Sakarya ili dışında bu bilgilerin bulunmamasından kaynaklanmaktadır. Doğrulama verisinde modellerin eğitimine veya parametre optimizasyonuna girmemiş veriler olmasına rağmen yine de bölgesel bilgileri içermektedir.

İlk incelenecek olan model binaların planında herhangi bir düzensizlik bilgisini tahmin görevinde kullanan modeldir. Sakarya ilindeki binaların %7.78'inde bulunan bu düzensizlik türünde modelin doğrulama ve eğitim türüne verdiği cevaplar Şekil 4.7'de verilmiştir. Dengesiz bir sınıflandırma görevi olduğu eğitimde veriler rastgele üst örnekleme ile dengelenmiştir. Model hiç görmediği doğrulama sonuçlarında %80.17 doğruluk oranı vermiştir. 181 adet düzensizliğin 141'ine doğru yanıtı verirken 40 adet plan düzensizliği bulunan binaya yanlış cevabı vermiştir. Eğitim verilerindeki başarısı ise %81.60'dır.



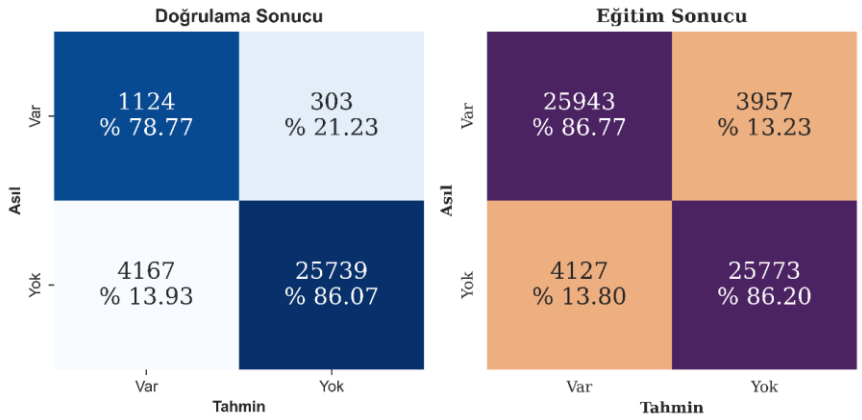
Şekil 4.7. Planda düzensizlik etiketi için model karışıklık matrisi.

Modelin tüm veri setindeki sonuçları Şekil 4.8'de görülmektedir. Yapılan tahminde Türkiye'deki bina stoğunun yaklaşık %13.98'inde planda düzensizliği tespit edilmiştir. Bu binaların hepsi 1999 öncesi inşa edilmiş yapılar olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu dönemde binaların daha denetimsiz inşa edildiği düşünüldüğünde beklenilen bir sonuç olmaktadır. Ayrıca planda düzensizlik daha çok yığma binalarda rastlanılan bir durum olduğu içinde düzensizlik tahminlerinin çoğunluğu yığma binalar için yapılmıştır.



Şekil 4.8. Tüm veri setindeki plan düzensizliklerinin tahminleri.

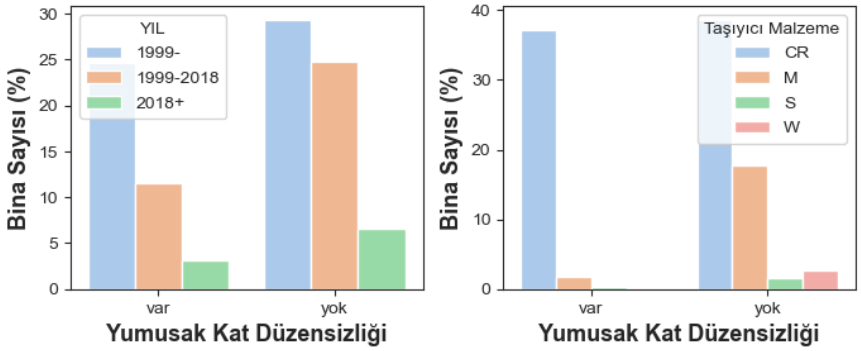
İkinci olarak incelenecek model sismik kırılganlık için çok büyük bir etkisi olan yumuşak kat düzensizliğini tahmin eden modeldir. Şekil 4.9'daki karışıklık matrisleri incelendiğinde 1,427 yumuşak kat düzensizliğine sahip binaların 1,124 tanesini doğru tahmin etmiş 303 binayı ise yanlış tahmin etmiştir. Modelin genel doğruluk oranı ise %85.73'tür.



Şekil 4.9. Yumuşak kat düzensizlik etiketi için model karışıklık matrisi.

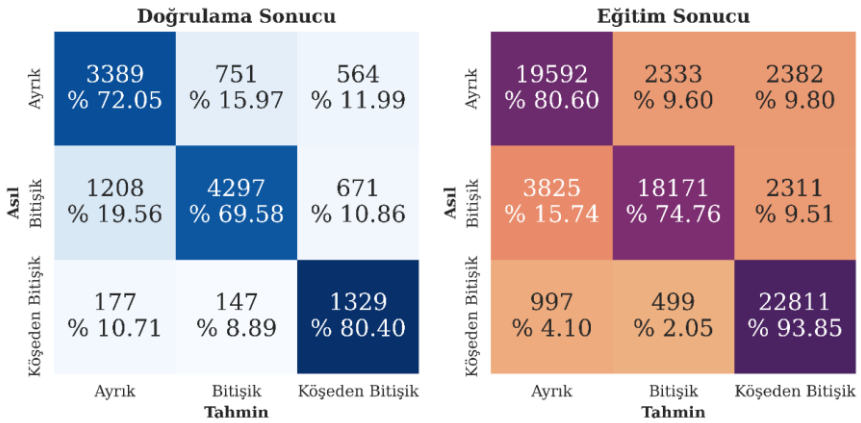
Sakarya merkez ilçelerdeki binaların %19.36'sına yumuşak kat düzensizliğinin bulunduğu tespit edilmiştir. Burada hatırlatma yapmak gerekir ki yumuşak kat olarak

etiketlenen binalar sadece gözlem sonucu binanın giriş katında ticari kullanım gibi büyük açıklı binaları temsil etmektedir. Model tahmin sonuçlarında ise tüm stoğun yaklaşık %39.25'inde benzer bina tipolojisi olduğu görülmüştür. Yıllara göre dağılımda 1999 öncesi binalarda bu düzensizlik oranı yoğunluktayken taşıyıcı sistem türüne göre ise yüksek oran betonarme binalar tarafında oluşmuştur.



Şekil 4.10. Tüm veri setindeki yumuşak kat düzensizliğinin tahminleri.

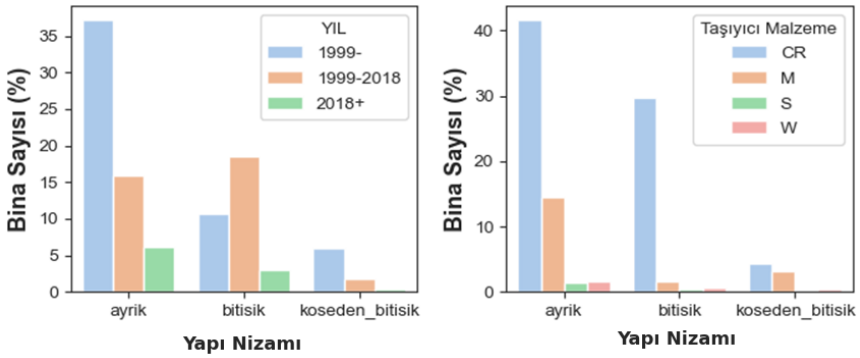
Son olarak binanın diğer binalar ile nizam durumunu tahmin eden modelin karışıklık matrisi 4.11'deki gibidir. Bu modelde üç adet kategorik değişken bulunmaktadır. Bunlar, Ayrık , Bitişik ve Köşeden Bitişik durumlarını belirten etiketlerdir. Bu modelin doğruluk oranı %71.93'iken, eğitim başarısı %83.07'dir. Eğitim sonucu modelin daha veriye fazla uyma eğilimi olduğunu göstermektedir. Bunun grafikte de görüldüğü gibi orta sınıf olan Bitişik Nizam sınıfını modelin ayırmada biraz güçlük çektiğidir.



Şekil 4.11. Yapı nizam etiketi için model karışıklık matrisi.

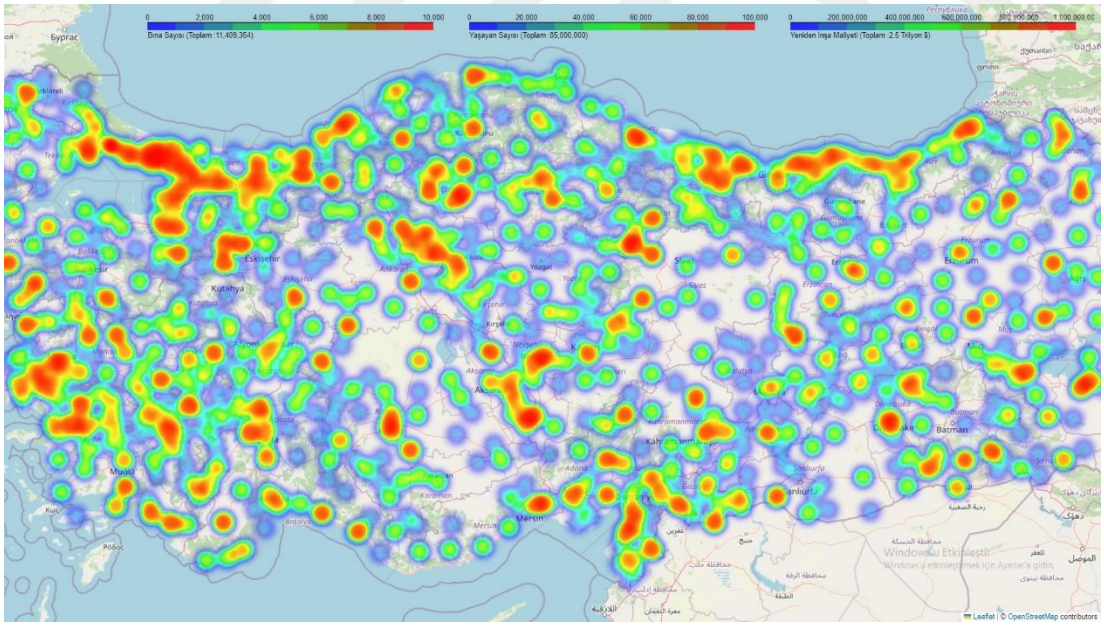
Şekil 4.12'de modelin tam verideki tahmin dağılımı incelendiğinde ise bitişik nizamımın 1999-2018 arasındaki yapılarda daha fazla yoğunlaştığı görülebilir. Bitişik

nizam tüm bina stoğunun yaklaşık %32.38'ine, köşeden bitişik durumunda %8.27'sine atanmıştır. Malzeme dağılımında ise en fazla betonarme binalarda bitişik nizam durumu belirmiştir.



Şekil 4.12. Tüm veri setindeki binaların nizam durumu tahmini.

Elde edilen tüm bilgiler CORINE 2018 yapay arazi örtüsünde dağılımları yapılarak Şekil 4.13'deki Türkiye maruziyet modeli elde edilmiştir. Şekilde de görülebileceği gibi yayılımlar sadece merkezlere doğru yoğunlaşmış ve merkezden uzaklaştıkça maruz kalan değerlerde azalmalar meydana gelmiştir.



Şekil 4.13. Türkiye ilçe düzeyinde maruziyet modeli.

Oluşturulan bu maruziyet modelinde toplam 11,409,354 binada 85 milyon insan yaşadığı ve Türkiye için tüm binaların yeniden inşa maliyetinin yaklaşın 2.5 trilyon dolarlık bir maliyet olduğu belirtilmiştir. En fazla yoğunluk görülen Marmara bölgesi sismik risk bakımından da Türkiye'deki en riskli bölgelerin başında gelmektedir.

Sismik aktivitenin de en yoğun olduğu bu bölgede oluşacak tehlikeler daha fazla değeri etkileyecektir. Marmara bölgesinde nüfus yoğunluğu ve ekonomik faaliyetlerin de büyük bir bölümünün burada yoğunlaşması nedeniyle, potansiyel bir depremin oluşturacağı kayıp bu tez kapsamında hesaplanan sadece yeniden inşa maliyetinden çok daha büyük olacaktır. İstanbul gibi metropol bir kentin yer aldığı bu bölgede deprem riski hem insan kaybı hem de ekonomik kayıplar açısından da endişe verici boyutlardadır.

Deprem sonrası kayıpların tahmin edilmesi bu kayıpların önüne geçilmesinde sadece başlangıç aşamasını oluşturmaktadır. Bundan sonraki süreçte bu bilgiler, altyapının iyileştirilmesi, binaların depreme dayanıklı hale getirilmesi ve toplumsal dayanıklılığın artırılması için bir kılavuz olarak görülmelidir. Bu nedenle hem yerel hem de ulusal düzeyde kapsamlı bir afet yönetim planın oluşturulması büyük önem taşımaktadır. Bu planda acil durum müdahaleleri, arama-kurtarma çalışmaları, geçici barınma çözümleri ve uzun vadeli yeniden inşa stratejileri içermelidir.

Bu tez kapsamında Türkiye'nin mevcut bina stoğuyla ilgili bir maruziyet çalışması yapılmıştır. Bu bağlamda, kentlerin gelecekteki yoğunlukları hakkında bir çıkarım yapılmamaktadır. Türkiye'nin nüfus artış hızı her ne kadar son 5 yılda ciddi bir düşüş göstermiş olsa da insan ve bina sayılarındaki artış devam etmektedir. Nüfustaki artışlar doğrudan bina stoğunda ve değerlerde artışlara sebep olacaktır. Bu nedenle, ülke düzeyinde kullanılacak maruziyet modelleri dinamik olarak oluşturulmalı, belirli periyotlarla maliyet bilgileri güncellenmeli ve yeni eklenen verilerle bu modeller genişletilmelidir. Ancak bu şekilde maruziyet modelinden doğruluğu yüksek ve belirsizliği düşük bilgiler elde edilebilir. Bu tez kapsamında oluşturulan model sadece yazıldığı dönem içerisinde geçerliliğini koruyacaktır. Gelecek zaman dilimlerinde bu bilgiler elde edilen yeni veriler ile güncelleştirilmeli veya kentlerin büyüme indeksleri kullanılarak geleceğe yönelik modeller oluşturulmalıdır.

KAYNAKLAR

Adimalla, N. (2020). Spatial distribution, exposure, and potential health risk assessment from nitrate in drinking water from semi-arid region of South India. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, *26*(2), 310–334. https://doi.org/10.1080/10807039.2018.1508329

Altunişik, A. C., Arslan, M. E., Kahya, V., Aslan, B., Sezdirmez, T., Dok, G., Kirtel, O., Öztürk, H., Sunca, F., Baltaci, A., Emiroğlu, M., Günaydin, M., Adanur, S., Atmaca, B., Akgül, T., Demir, A., Tatar, T., Aykanat, B., Haciefendioğlu, K., … Nas, M. (2023). Field Observations and Damage Evaluation in Reinforced Concrete Buildings After the February 6th, 2023, Kahramanmaraş–Türkiye Earthquakes. *Https://Doi.Org/10.1142/S1793431123500240*, *17*(6). https://doi.org/10.1142/S1793431123500240

Arslan Kelam, A., Karimzadeh, S., Yousefibavil, K., Akgün, H., Askan, A., Erberik, M. A., Koçkar, M. K., Pekcan, O., & Ciftci, H. (2022). An evaluation of seismic hazard and potential damage in Gaziantep, Turkey using site specific models for sources, velocity structure and building stock. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, *154*, 107129. https://doi.org/10.1016/J.SOILDYN.2021.107129

Asteris, P. G., Chronopoulos, M. P., Chrysostomou, C. Z., Varum, H., Plevris, V., Kyriakides, N., & Silva, V. (2014). Seismic vulnerability assessment of historical masonry structural systems. *Engineering Structures*, *62–63*, 118–134. https://doi.org/10.1016/J.ENGSTRUCT.2014.01.031

Ay, B. Ö., Azak, T. E., & Erberik, M. A. (n.d.). *Evaluation of Changing Building Characteristics in Turkey*. Retrieved May 24, 2024, from http://www.nvi.gov.tr/Files/File/AKS/Formlar/Yap

Bal, I. E., Bommer, J. J., Stafford, P. J., Crowley, H., & Pinho, R. (2010). The Influence of Geographical Resolution of Urban Exposure Data in an Earthquake Loss Model for Istanbul. *Https://Doi.Org/10.1193/1.3459127*, *26*(3), 619–634. https://doi.org/10.1193/1.3459127

Baytan Ozmen Usak Üniversitesi, H., MURAT Senel, S., Haydar Kayhan, A., Inel, M., Ozmen, H., Senel, S., & Kayhan, A. (n.d.). *Structural Properties of Existing Low and Mid-Rise Reinforced Concrete Building Stock in Turkey*. Retrieved May 24, 2024, from https://www.researchgate.net/publication/299489038

Bjerrum, L. W., Bjørge, Å. O., Sørensen, M. B., Ottemöller, L., Sari, C., & Atakan, K. (n.d.). *BUILDING VULNERABILITY AND SEISMIC RISK ASSESSMENT FOR İZMİR, TURKEY*.

Borri, A., Castori, G., & Grazini, A. (2009). Retrofitting of masonry building with reinforced masonry ring-beam. *Construction and Building Materials*, *23*(5), 1892–1901. https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2008.09.012

Breiman, L. (2001). Random Forests. *Machine Learning 2001 45:1*, *45*(1), 5–32. https://doi.org/10.1023/A:1010933404324

Brzev, S., Scawthorn, C., Charleson, A. W., Allen, L., Greene, M., Jaiswal, K., & Silva, V. (2013). GEM Building Taxonomy (Version 2.0). *GEM Technical Report*.

Calderón, A., & Silva, V. (2021). Exposure forecasting for seismic risk estimation: Application to Costa Rica. *Earthquake Spectra*, *37*(3), 1806–1826. https://doi.org/10.1177/8755293021989333/ASSET/IMAGES/LARGE/10.1177_8755293021989333-FIG14.JPEG

CORINE Land Cover 2018 (vector), Europe, 6-yearly - version 2020_20u1, May 2020. (n.d.). Retrieved May 25, 2024, from https://sdi.eea.europa.eu/catalogue/copernicus/api/records/71c95a07-e296-44fc-b22b-415f42acfdf0?language=all

Crowley, H. ;, Dabbeek, J. ;, Despotaki, V. ;, Rodrigues, D. ;, Martins, L. ;, Silva, V. ;, Romão, X. ;, Pereira, N. ;, Weatherill, G. ;, & Danciu, L. (2021). European Seismic Risk Model (ESRM20). *EFEHR Technical Report*, *002*. https://doi.org/10.7414/EUC-EFEHR-TR002-ESRM20

Crowley, H., Despotaki, V., Rodrigues, D., Silva, V., Toma-Danila, D., Riga, E., Karatzetzou, A., Fotopoulou, S., Zugic, Z., Sousa, L., Ozcebe, S., & Gamba, P. (2020). Exposure model for European seismic risk assessment. *Earthquake Spectra*, *36*(1_suppl), 252–273. https://doi.org/10.1177/8755293020919429

Cunningham, P., & Delany, S. J. (2021). k-Nearest Neighbour Classifiers - A Tutorial. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, *54*(6). https://doi.org/10.1145/3459665

Dabbeek, J., Crowley, H., Silva, V., Weatherill, G., Paul, N., & Nievas, C. I. (2021). Impact of exposure spatial resolution on seismic loss estimates in regional portfolios. *Bulletin of Earthquake Engineering*, *19*(14), 5819–5841. https://doi.org/10.1007/S10518-021-01194-X/TABLES/3

Dell'Acqua, F., Gamba, P., & Jaiswal, K. (2013). Spatial aspects of building and population exposure data and their implications for global earthquake exposure modeling. *Natural Hazards*, *68*(3), 1291–1309. https://doi.org/10.1007/S11069-012-0241-2/FIGURES/7

Dogan, G., Ecemis, A. S., Korkmaz, S. Z., Arslan, M. H., & Korkmaz, H. H. (2021). Buildings Damages after Elazığ, Turkey Earthquake on January 24, 2020. *Natural Hazards*, *109*(1), 161–200. https://doi.org/10.1007/S11069-021-04831-5/FIGURES/46

El Naqa, I., Murphy, M. J., El Naqa, I., & Murphy, M. J. (2015). What Is Machine Learning? *Machine Learning in Radiation Oncology*, 3–11. https://doi.org/10.1007/978-3-319-18305-3_1

Eroğlu, T., Kara, A., Okulu, H., Ay, B. Ö., Azak, T. E., & Akkar, S. (2017). *A Statistical Study on Geometrical Properties of Turkish Reinforced Concrete Building Stock*. https://www.researchgate.net/publication/319628733

Güllü, H., Ansal, A. M., & Özbay, A. (2008). Seismic hazard studies for Gaziantep city in South Anatolia of Turkey. *Natural Hazards*, *44*(1), 19–50. https://doi.org/10.1007/S11069-007-9140-3/FIGURES/23

Gunes, O. (2015). Turkey's grand challenge: Disaster-proof building inventory within 20 years. *Case Studies in Construction Materials*, *2*, 18–34. https://doi.org/10.1016/J.CSCM.2014.12.003

Helen Crowley, A., Riga, E., Anna Karatzetzou, A., & Stavroula Fotopoulou, A. (n.d.). *DELIVERABLE D26.3 Methods for Developing European Commercial and Industrial Exposure Models and Update on Residential Model Work package WP26 (JRA4: Risk Modelling Framework for Europe) Lead EUCENTRE Intranet path DOCUMENTS/DELIVERABLES/SERA_D26.3_Exposure_Models_Non-res_Res SERA Seismology and Earthquake Engineering Research Infrastructure Alliance for Europe D26.3 Methods for developing European commercial and industrial exposure models and update on residential model 2*.

Ilki, A., & Celep, Z. (2012). Earthquakes, Existing Buildings and Seismic Design Codes in Turkey. *Arabian Journal for Science and Engineering*, *37*(2), 365–380. https://doi.org/10.1007/S13369-012-0183-8/METRICS

Işık, E., Avcil, F., Büyüksaraç, A., İzol, R., Hakan Arslan, M., Aksoylu, C., Harirchian, E., Eyisüren, O., Arkan, E., Şakir Güngür, M., Günay, M., & Ulutaş, H. (2023). Structural damages in masonry buildings in Adıyaman during the Kahramanmaraş (Turkiye) earthquakes (Mw 7.7 and Mw 7.6) on 06 February 2023. *Engineering Failure Analysis*, *151*, 107405. https://doi.org/10.1016/J.ENGFAILANAL.2023.107405

Karimzadeh, S., Askan, A., Erberik, M. A., & Yakut, A. (2018). Seismic damage assessment based on regional synthetic ground motion dataset: a case study for Erzincan, Turkey. *Natural Hazards*, *92*(3), 1371–1397. https://doi.org/10.1007/S11069-018-3255-6/FIGURES/15

Lee, J., Jang, H., Yang, J., & Yu, K. (2017). Machine Learning Classification of Buildings for Map Generalization. *ISPRS International Journal of Geo-Information 2017, Vol. 6, Page 309*, *6*(10), 309. https://doi.org/10.3390/IJGI6100309

Lindh, T., & Malmberg, B. (2008). Demography and housing demand-what can we learn from residential construction data? *Journal of Population Economics*, *21*(3), 521–539. https://doi.org/10.1007/S00148-006-0064-0/TABLES/4

Masi, A., Lagomarsino, S., Dolce, M., Manfredi, V., & Ottonelli, D. (2021a). Towards the updated Italian seismic risk assessment: exposure and vulnerability modelling. *Bulletin of Earthquake Engineering*, *19*(8), 3253–3286. https://doi.org/10.1007/S10518-021-01065-5/FIGURES/11

Masi, A., Lagomarsino, S., Dolce, M., Manfredi, V., & Ottonelli, D. (2021b). Towards the updated Italian seismic risk assessment: exposure and vulnerability modelling. *Bulletin of Earthquake Engineering*, *19*(8), 3253–3286. https://doi.org/10.1007/S10518-021-01065-5/FIGURES/11

Meletti, C., Galadini, F., Valensise, G., Stucchi, M., Basili, R., Barba, S., Vannucci, G., & Boschi, E. (2008). A seismic source zone model for the seismic hazard assessment of the Italian territory. *Tectonophysics*, *450*(1–4), 85–108. https://doi.org/10.1016/J.TECTO.2008.01.003

Meral, E. (2019). Evaluation of Structural Properties of Existing Turkish RC Building Stock. *Iranian Journal of Science and Technology - Transactions of*

Civil Engineering, *43*(3), 445–462. https://doi.org/10.1007/S40996-018-0207-Z/TABLES/17

Nqasha, T., Khoyratty, Z., Akombelwa, M., Singh, M., & Kijko, A. (2024). First-order approximation towards empirical seismic vulnerability assessment of low-cost unreinforced masonry buildings in South Africa. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, *15*(1). https://doi.org/10.1080/19475705.2023.2300837

Parisi, F., & Augenti, N. (2013). Seismic capacity of irregular unreinforced masonry walls with openings. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, *42*(1), 101–121. https://doi.org/10.1002/EQE.2195

Pavić, G., Hadzima-Nyarko, M., Bulajić, B., & Jurković, Ž. (2020a). Development of Seismic Vulnerability and Exposure Models—A Case Study of Croatia. *Sustainability 2020, Vol. 12, Page 973*, *12*(3), 973. https://doi.org/10.3390/SU12030973

Pirowski, T., & Bartos, K. (2018). Detailed maping of the distribution of a city population based on information from the national database on buildings. *Geodetski Vestnik*, *62*(3), 458–471. https://doi.org/10.15292/GEODETSKI-VESTNIK.2018.03.458-471

Researcher Information - OpenStreetMap Wiki. (n.d.). Retrieved May 25, 2024, from https://wiki.openstreetmap.org/wiki/Researcher_Information

Rivera, F., Rossetto, T., & Twigg, J. (2020). An interdisciplinary study of the seismic exposure dynamics of Santiago de Chile. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, *48*, 101581. https://doi.org/10.1016/J.IJDRR.2020.101581

Sawalha, I. H. (2020). A contemporary perspective on the disaster management cycle. *Foresight*, *22*(4), 469–482. https://doi.org/10.1108/FS-11-2019-0097/FULL/PDF

Sohn, G., & Dowman, I. (2007). Data fusion of high-resolution satellite imagery and LiDAR data for automatic building extraction. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, *62*(1), 43–63. https://doi.org/10.1016/J.ISPRSJPRS.2007.01.001

Stefanidis, S., Alexandridis, V., & Theodoridou, T. (2022). Flood Exposure of Residential Areas and Infrastructure in Greece. *Hydrology 2022, Vol. 9, Page 145*, *9*(8), 145. https://doi.org/10.3390/HYDROLOGY9080145

T Mitchell, B Buchanan, G DeJong, T Dietterich, P Rosenbloom, and, & Waibel, A. (2003). Machine Learning. *Https://Doi.Org/10.1146/Annurev.Cs.04.060190.002221*, *4*(1), 417–433. https://doi.org/10.1146/ANNUREV.CS.04.060190.002221

Wieland, M., Pittore, M., Parolai, S., & Zschau, J. (2012). Exposure Estimation from Multi-Resolution Optical Satellite Imagery for Seismic Risk Assessment. *ISPRS International Journal of Geo-Information 2012, Vol. 1, Pages 69-88*, *1*(1), 69–88. https://doi.org/10.3390/IJGI1010069

Wu, J. R., & Di Sarno, L. (2023). A machine-learning method for deriving state-dependent fragility curves of existing steel moment frames with masonry infills. *Engineering Structures*, *276*. https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2022.115345

Yepes-Estrada, C., Calderon, A., Costa, C., Crowley, H., Dabbeek, J., Hoyos, M. C., Martins, L., Paul, N., Rao, A., & Silva, V. (2023a). Global building exposure

model for earthquake risk assessment. *Https://Doi.Org/10.1177/87552930231194048*, *39*(4), 2212–2235. https://doi.org/10.1177/87552930231194048

Yepes-Estrada, C., Calderon, A., Costa, C., Crowley, H., Dabbeek, J., Hoyos, M. C., Martins, L., Paul, N., Rao, A., & Silva, V. (2023b). Global building exposure model for earthquake risk assessment. *Earthquake Spectra*, *39*(4), 2212–2235. https://doi.org/10.1177/87552930231194048

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Muhammed Ali HAŞILOĞLU

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans :** 2019, Balıkesir Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği

MESLEKİ DENEYİM:

- 2023-2024 yılları arasında Nişantaşı Üniversitesi İnşaat Mühendisliği'nde Araştırma Görevlisi olarak çalıştı.
- 2024 itibariyle Bursa Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği İnşaat Mühendisliği'nde Araştırma görevlisi olarak çalışmakta.

TEZDEN TÜRETİLEN ESERLER:

- Prediction of Building Damage Caused by Earthquake with Machine Learning, Academic Perspective Procedia 5(2):72-82.

DİĞER ESERLER:

SARI, Furkan Abdurrahman, et al. Determining Air Pollution Level with Machine Learning Algorithms: The Case of India. In: The International Conference on Artificial Intelligence and Applied Mathematics in Engineering. Cham: Springer International Publishing, 2022. p. 560-581.