

Öz

Mimarlık, Mühendislik ve İnşaat (AEC) endüstrisinde Bina Yönetmelik Uygunluk Kontrolü (ACCC) umut vaat eden bir çalışma alanı olarak karşımıza çıkmaktadır. Yönetmelik kontrolü sürecinde karşılaşılan sorunları çözmeye yönelik olarak başvurulan ACCC yöntemi, yönetmelik kurallarının hatasız kontrol edilerek doğru sonuçların elde edilmesi için kritik bir görev olarak yorumlanmaktadır. Bu çalışmada, bina yönetmelik uygunluk kontrolü konu alanında yapılmış elektronik akademik veri tabanlarından ulaşılan İngilizce makale çalışmalarını literatür taraması ile elde edilmiştir. ACCC konu alanında farklı yer, zaman ve merkezlerde yapılmış olan çalışmaların sonuçları birleştirilerek ACCC'nin AEC endüstrisindeki genel durumu sergilenmiştir. Bina Enformasyon Modellemesi (BIM) ve Endüstri Temel Sınıfları (IFC) teknolojilerinin ACCC yöntemiyle olan ilişkisi irdelenmiş, literatür tarama sonucu ACCC'nin tarihsel süreç içindeki gelişimine yer verilmiş, çözüm ve iyileştirme çalışmalarının mevcut durumunu gösteren son ve güncel ACCC sistemleri hakkında detaylı bilgi verilmiştir.


Abstract

Automated Code Compliance Checking (ACCC) is a promising study field in the Architecture, Engineering and Construction (AEC) industry. The ACCC method, which is applied in order to solve the problems encountered in the building regulation controlling process, is interpreted as a critical task in order to obtain correct results by checking the rules of the building regulation clauses without errors. This study obtains article studies only written in English by literature review which are accessed from electronic academic databases in the subject area of ACCC. It demonstrates the ACCC's overall situation in the AEC industry by combining the results of articles conducted at different locations, times and centers. This study explores the relationship between Building Information Modeling (BIM) and Industry Foundation Classes (IFC) with the ACCC method. It includes the development of the ACCC in the historical process and it gives detailed information about the latest and current ACCC systems that shows the current status of the solution and improvement studies.


Anahtar Kelimeler: BIM, Bina enformasyonu modellemesi, ACCC, Bina yönetmelik uygunluk kontrolü, IFC

Keywords: BIM, Building information modeling, ACCC, Automated code compliance checking, IFC

Bina Yönetmelik Uygunluk Kontrolü Kavramına Yönelik Bir Literatür Taraması

 Murat Aydın

Istanbul Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü

 Hakan Yaman

Istanbul Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü

Başvuru tarihi/Received: 06.01.2019, Kabul tarihi/Final Acceptance: 13.01.2020

1. Giriş

Bina Enformasyonu Modellemesi (*Building Information Modelling, BIM*); Mimarlık, Mühendislik ve İnşaat (*Architecture, Engineering and Construction, AEC*) endüstrisini yeniden şekillendiren, yenilikçi bir gelişme olarak kabul edilen simülasyon prototipleme teknolojisidir. Araştırmacılar, AEC endüstrisinde BIM'in işbirlikçi kullanımının projelerin daha fazla kaynak, daha yüksek kalite ve daha fazla müşteri memnuniyeti ile sonuçlandığını belirtmişlerdir (*Nawari ve Kuenstle 2015*). Bir BIM modeli, ilgili projenin tasarım aşamasından yıkım aşamasında kadar ki bina yaşam döngüsü boyunca güvenilir kararların verilmesini sağlayan, paylaşılabilir bir bilgi kaynağıdır. Bu nedenle; BIM'in genel kapsamı, bina elemanlarının akıllı sayısal temsiline birçok yönünü kapsamaktadır (*Nawari ve Alsaffar 2015, 164-165*).

BIM kontrol araçları, dijital sunumlar ve akıllı sanal modeller üreten platformlardır. BIM'in bina elemanlarına genişletilebilir, güncellenebilir özelliği ekleyebilme yeteneği ile bina tasarımlarının bina yönetmelik kontrolleri için kontrol makamlarından alınan onaylarda BIM ikna edici ve güvenilir bir yol olarak kabul görmektedir. BIM, kullanıcılara uygun yazılımlar aracılığıyla bina yönetmeliklerinin ve kodlarının otomatik olarak doğrulanabileceği bir ortam sağlamaktadır. buildingS-

MART International tarafından geliştirilen ve güncellenen ve BIM tarafından desteklenen Endüstri Temel Sınıfları (*Industry Foundation Classes, IFC*) veri standardı belirli bir yazılımdan veya dosya formatından bağımsız olarak, birlikte çalışabilirliğin sağlanması için tercih edilmektedir. IFC, farklı BIM geliştirme araçları arasında bilgi alışverişi için kullanılan açık veri standardıdır. IFC, bilgi alışverişi sırasında bina elemanlarının bilgisini koruyarak değiştirilmesine izin vermemektedir. IFC, ISO (*International Organization for Standardization*) tarafından uluslararası bir standart olarak tescil edilmiştir. Bu yönüyle IFC, bina projelerinin bina yönetmeliklerine göre uygunluğunun kontrolünde önemli bir rol oynamaktadır. Bina Yönetmelik Uygunluk Kontrolü (*Automated Code Compliance Checking, ACCC*) yöntemi, bina elemanlarının ve ilgili yönetmeliklerin özelliklerini dikkate alarak bilgisayar tarafından eşzamanlı yönetmelik kontrolünü sağlanan kural tabanlı bir yöntemdir. Bu yöntemde, bina elemanlarının her biri, ilgili yönetmeliğin kurallarına ve koşullarına göre uygunluk açısından kontrol edilir ve sonuç raporları oluşturulur.

2. Yöntem

Bu çalışmada, bina yönetmelik kontrolü çalışmaları konu alanında yapılmış çalışmalar literatür taraması ile elde edilmiştir. Literatür taraması için dergilerde yayın-



This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.

lanan makalelere, konferanslarda sunulan bildirilere, raporlara ve tezlere ve birçok çalışmalara ulaşılabilmektedir. Çalışma kapsamında bina yönetmelik uygunluk kontrolü konu alanında yapılmış olan çalışmalar için belirli bir akademik standardı sağlamak açısından, sadece elektronik akademik veri tabanlarından ulaşılan makale çalışmaları ele alınmıştır. Bu amaçla, belirlenen konu alanında önde gelen uluslararası akademik veri tabanları belirlenmiştir. Bunlar American Society of Civil Engineers, Emerald, Engineering Village, Google Scholar, ICONDA CIB Library, John Wiley & Sons, Journal of Information Technology in Construction (*ITcon*), Science Direct, Scopus, Taylor & Francis ve Web of Science'dir. Kullanılan veri tabanlarının ara yüzünde yer alan arama ekranındaki başlık, özet ve anahtar kelime bölümlerine "Automated Code Compliance Checking, ACCC, Code Compliance Checking, CCC, Building Code" anahtar kelimeleri yazılarak, konu kapsamına giren çalışmalar araştırılmıştır. Araştırma için sadece İngilizce dilinde yazılmış makale çalışmaları kabul edilmiş; bunun dışındaki çalışmalar araştırmaya dâhil edilmemiştir. Araştırma sonucu elde edilen çalışmaların araştırma alanları Mimari Tasarım, Otomasyon, Bina Yönetmelikleri, Mühendislik, Çevre Bilimi, İnşaat Sektörü, Bina İnşaatı Teknolojisi ile sınırlandırılmıştır.

Çalışmada bina yönetmelik uygunluk kontrolü konu alanında farklı yer, zaman ve merkezlerde yapılmış olan çalışmaların sonuçları birleştirilerek ACCC'nin AEC endüstrisindeki genel durumu sergilenmiştir. ACCC'nin tanımı, ACCC'nin tarihçesi, ACCC sistemleri, BIM ve IFC'ye dayalı ACCC yöntemi hakkında ayrıntılı bilgi verilmiştir. Bina yönetmelik uygunluk kontrolü sürecinde ACCC yöntemi ile BIM ve IFC birlikte kullanılmaktadır. Yöntem ve teknoloji arasındaki süreç genel olarak; bina elemanlarının BIM sanal ortamında modellenmesi, BIM modelinin bilgisini içeren ve depolayan bir IFC veri standardına dönüştürülmesi ve IFC dosyasının bina yönetmeliklerine göre kontrol edilmesi, raporlanması ve sonuçlandırılması iş-

lemlerini kapsamaktadır. Aşağıda ilgili başlıklar altında ACCC yönteminin tanımı, ACCC'nin BIM ve IFC ile olan ilişkisi hakkında bilgi verilmiştir.

2.1. ACCC

Geleneksel yöntemlerle elle yürütülen bina yönetmelik kontrolü ve denetimi, mimarlar, mühendisler ve kamu yetkilileri için zaman alıcı ve hata eğilimli bir süreç olarak karşımıza çıkmaktadır (*Ding vd, 2006a, 113-126; Greenwood vd, 2010, 1-10*). Bu nedenle, BIM'in etkin otomatik bina yönetmelik uygunluk kontrolü AEC endüstrisinde umut verici bir çalışma yönü olarak değerlendirilmektedir. Bina Yönetmelik Uygunluk Kontrolü (*Automated Code Compliance Checking, ACCC*) yöntemi, bina elemanlarının ve ilgili yönetmeliklerin özelliklerini dikkate alarak bilgisayar tarafından eşzamanlı yönetmelik kontrolünü sağlanan kural tabanlı bir yöntemdir. Bu yöntemde, bina elemanlarının her biri, ilgili yönetmeliğin kurallarına ve koşullarına göre uygunluk açısından kontrol edilir ve sonuç raporları oluşturulur.

BIM, AEC endüstrisinde bina projelerin bilgi alışverişinde en etkili platform olarak kabul edilmektedir ve çeşitli yazılımların geliştirilmesini desteklemektedir. BIM tasarımcı, mimar, mühendis, yüklenici, mal sahibi vb. gibi projede yer alan katılımcılar için bina projelerinin bina yönetmeliklerine ve standartlarına göre uygunluğunun otomatik veya yarı otomatik olarak kontrol edilmesini kolaylaştırmaktadır. ACCC sürecinde bina projesine ait veriler iki şekilde temsil edilmektedir. Bunlar:

- BIM modeli,
- IFC veri standartı

2.1.1. BIM & ACCC

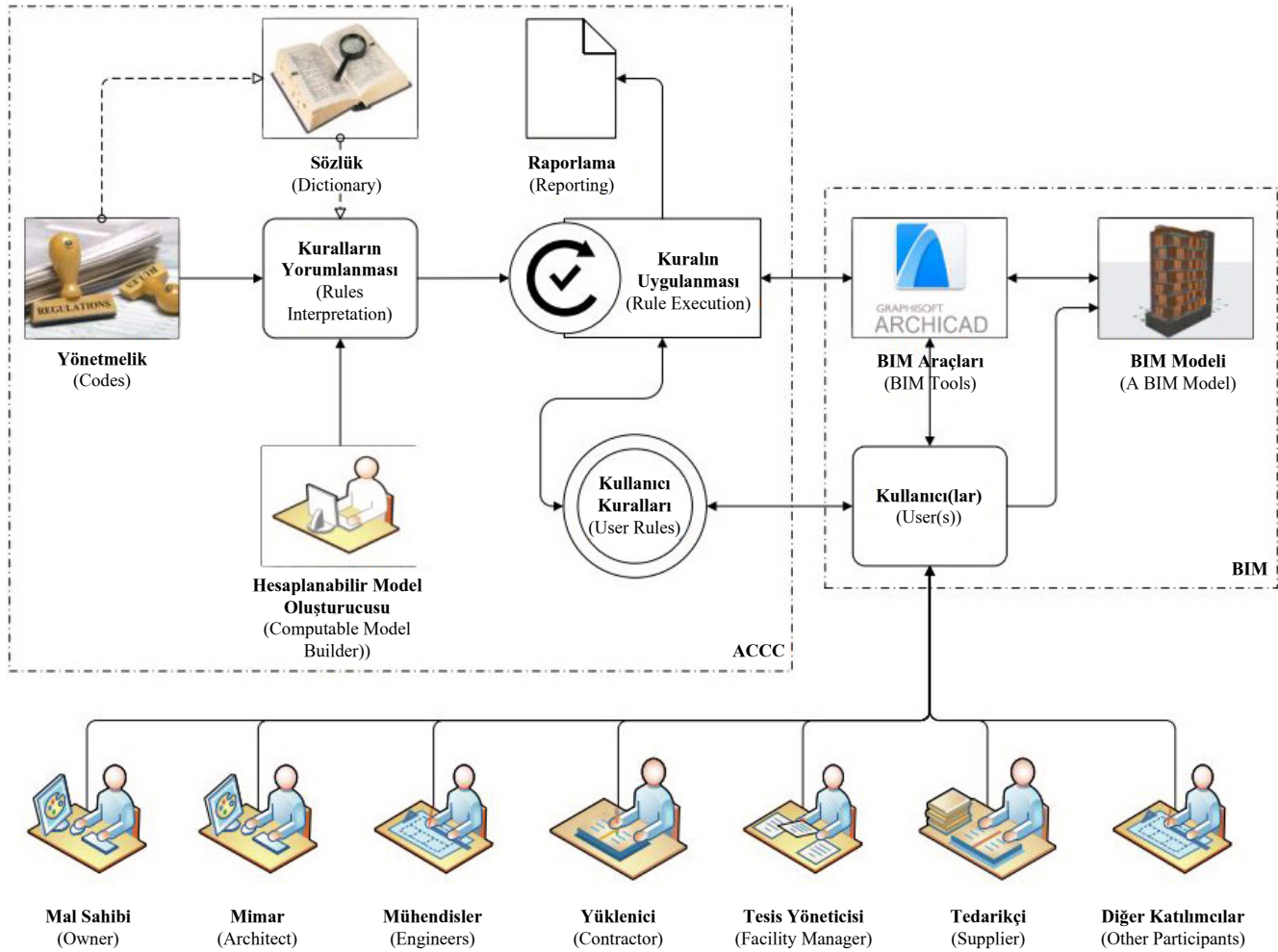
Tüm tasarım faaliyetleri bina enformasyonu modellemesi iş akışında bir BIM tabanlı model ile yürütülmektedir. Mimarlar, tasarımcılar, mühendisler, yükleniciler, mal sahibi vb. proje katılımcılarının çalıştıkları veri formatlarının farklı olması nedeniyle, katılımcılar tarafından birlikte çalışabilirliğin önemi vurgulanmıştır. Birlikte çalışabilirlik alanına yönelik ilk çalışmalar 1970'lerde ilk veri tabanı sistemi ile başlamıştır. Geleneksel manuel yöntemlerle,

kâğıt üzerinde elle tasarlanan ve kontrol edilen bina elemanlarını temsil etmek için önce iki boyutlu CAD sistemleri kullanılmış; daha sonra bu sistemler 1980'lerde üç boyutlu temsil araçları haline getirilmiştir. 1990'ların başında bina modeli temsilleri için nesne tabanlı BIM paradigmasına geçilmeye başlanmıştır (*Hakim ve Garrett 1993, 108-110*). 2000 yıllarda üç boyutlu BIM'e süre ve maliyet eklenerek dört ve beş boyutlu BIM olarak geliştirilmiştir. Günümüzde ise n boyutlu BIM olarak AEC endüstrisinin ihtiyacı doğrultusunda geliştirilmeye devam etmektedir. Bir bina projesi için gerekli proje çizimleri, üç boyutlu gösterimleri, malzemeleri, maliyeti, kısacası projeye ait tüm belgeleri üretebilecek kadar kapsamlı, birleşik veri tabanı olan bilgisayarı kullanma konsepti ortaya konmuştur. 2000 yılından itibaren gerçekleştirilen çalışmalar ile BIM teknolojisinin önemi gün geçtikçe artmış ve AEC endüstrisinde önemli kolaylıklar sağlamıştır. Autodesk®, Graphisoft®, Bentley® gibi bilgisayar destekli tasarım uygulama firmaları tarafından çeşitli BIM yazılımları geliştirilmeye başlanmıştır.

BIM, bu çalışmada kullanılan teknolojilerin ilkidir. AEC endüstrisindeki en önemli gelişmelerden biri olan BIM, farklı araçları ve süreçleri tasarıma dâhil ederek proje verilerinin sayısal ortamda yönetilmesine olanak sağlayan bir teknolojidir. BIM, binayı oluşturan elemanları temel almakta ve elemanların birbirleriyle olan ilişkilerini modellemektedir. BIM, daha iyi bir görselleştirme ve proje bütünleşme olanağı sağlamasının yanı sıra, iş birliği gereksinimi, daha kaliteli çıktıların oluşturulması, proje risklerinin azaltılması, eşgüdüm eksikliği nedeniyle oluşabilecek süre kaybı, maliyetin en aza indirilmesi ve çevreye daha az zararlı binaların üretilmesi amacıyla geliştirilmiştir. BIM geliştirme araçları, akıllı sanal BIM modeli üreten platformlardır. Sanal BIM modelini oluşturmak için semantik açıdan zengin bina elemanları kullanılmaktadır. Bu alanda yaşanan son gelişmeler, bina modellerini temsil etmek üzere hem yazılımsal, hem de donanımsal ilerlemelerin vazgeçilmez

olduğunu göstermiştir. Ortaya çıkan BIM modeli ve modeldeki bina elemanlarına özellikler eklenebilme yeteneği birleştiğinde, BIM bina tasarımlarının uygulanması, değerlendirilmesi ve denetlenmesi işlemlerini yapan kurum veya kuruluşlar tarafından kabul gören bir araç haline gelmiştir. Başka bir deyişle, BIM modeline göre bina yönetmeliklerinin uygunluğunu otomatik kontrol eden yazılımlar ile doğrulanacağı yeni bir ortam sağlanmıştır.

Şekil 1'de görüldüğü gibi otomatik bina yönetmelik uygunluk kontrol sistemlerinin uygulanması için temel gereklilik, nesne tabanlı BIM modellerinin ACCC için gerekli bilgiye sahip olmasıdır. Bu, bina elemanlarının tüm detaylarının ilgili bina yönetmeliklerindeki maddelerine göre uygun olup olmadığının incelenmesine olanak sağlar. Ayrıca tüm bina elemanları tek bir BIM modeli üzerinde oluşturulmalıdır. BIM'de oluşturulan bina elemanları, çeşitli parametrik verilere ve özelliklere sahiptir. Örneğin; bir kolon elemanı malzeme, boyut, tür, maliyet vb. gibi özelliklere sahiptir. Aynı şekilde bir duvar elemanı için kalınlık, yükseklik ve malzeme verisine ihtiyaç vardır. Bu nedenle, ACCC uygulaması için üç boyutlu bir bina modeli gereklidir. Bu bina modeli projede yer alan tasarımcı, mimar, mühendis, yüklenici, tedarikçi vb. proje katılımcıları tarafından her bir bina elemanı, en ayrıntı düzeyine kadar oluşturulmalıdır. Örneğin, ABD Genel Hizmetler İdaresi (*The US General Services Administration, GSA*), basit bir kural kontrolü için modelleme gereksinimlerinin temel şekillerini sunmaktadır (*GSA 2018*). Bu bilgiler, yazılım sağlayıcıları tarafından IFC içinde doğru bir şekilde kodlanmalı ve tasarım yazılımı tarafından doğru şekilde test edilmelidir. Özetle, BIM bina yönetmeliklerinin ACCC sistemlerinin geliştirilmesini ve uygulanmasını sağlayan büyük bir potansiyele sahiptir. Böylece, BIM yerel yönetimler tarafından yürütülmekte olan binanın mevcut standart ve yönetmeliklere uygun olarak tasarlanıp tasarlanmadığı, inşa edilmekte olup olmadığı, sonuç ürünün standart ve yönetmeliklerin gereksinimlerine uygun olup olmadığı vb.



kontrol süreçlerinin etkinliğini ve doğruluğunu arttırmaktadır.

2.1.2. IFC & ACCC

1997 yılında The Industry Alliance for Interoperability (IAI) tarafından birlikte çalışabilirlik için yeni bir endüstri temel sınıfları olan IFC (Industry Foundation Classes) veri standardı oluşturulmuştur (IAI 1997; Eastman 1999). IFC, herhangi bir yazılımdan bağımsız olarak EXPRESS dilinde geliştirilmiş standart, nesne tabanlı veri modelidir (ISO10303-11 1997; buildingSMART 2017). BIM tabanlı yazılımlar tarafından desteklenmektedir. Dolayısıyla, BIM ve IFC veri standardının tasarım sürecinde önemli ilerlemeler sağlayacağı ve iş birliğini kolaylaştıracağı kabul edilmektedir. AEC endüstrisindeki birçok katılımcı arasında bina elemanlarının bilgisi, farklı yazılımlar arasında IFC kullanılarak

paylaşılmakta ve kolayca aktarılabilir. IFC standardının en önemli özelliği, bir bina elemanının birden fazla özellik tarafından tanımlanmasını sağlayan zengin veri yapısıdır. IFC standardında veriler duvar, kolon, kiriş, döşeme, pencere, kapı, korkuluk, asansör, merdiven vb. farklı bina elemanlarına ayrılır. Bu bina elemanları üç boyutlu bir geometriye ve boyut, malzeme, özellik, fiyat, miktar vb. parametrelere de sahiptir. IFC bir bina projesine ait temel iki bilgiyi içerir:

- Projeye dâhil olan tüm katılımcıların bilgisi (mimar, mühendis, yüklenici, mal sahibi, işveren, alt yüklenici, yapım yöneticisi vb.),
- Başlangıç gereksinimleri, tasarım, inşaat, bakım, işletme dâhil olmak üzere proje yaşam döngüsündeki tüm aşamaların bilgisi.

Şekil 1
BIM modeli ve ACCC arasındaki ilişki.

IFC, kullanıcılara bir bina projesi hakkında kapsamlı bilgi ve özellikleri sunmaktadır. Ayrıca, uluslararası standart haline getirilmiş nesne tanımlarını temsil eder. BuildingSMART International'a göre IFC, bir bina projesinde çeşitli katılımcılar arasında paylaşılan BIM verisinin açık bir spesifikasyonu olarak tanımlanmaktadır. IFC nesne tabanlı konseptte sahiptir. Nesnelere bina projesinde kullanılan bina elemanları olarak da adlandırılır. Bu bina elemanları üç boyutlu olup tanımı, adı, boyutu, yeri, malzemesi, maliyeti vb. gibi özelliklere sahiptir. IFC dosyasındaki bina elemanlarının bilgileri, AEC endüstrisinde kullanılan farklı yazılımlar arasında kolayca aktarılabilir. IFC formatına dışa aktarım yapılmadan önce binayla ilgili tüm enformasyonun uygun bir şekilde modellenmesi gerekmektedir. BIM modeli IFC formatına dönüştürüldüğü zaman bina elemanlarına ait enformasyon, ilgili IFC kavramlarına çevrilebilmektedir. Bir bina modeli IFC dosya biçimine dönüştürüldüğünde, otomatik bina yönetmelik uygunluk kontrolü için gereken detaylı enformasyon da sağlanmış olmaktadır. Elle yapılan yönetmelik kontrolünün bilgisayar ortamında sayısal olarak yapılması, yönetmelik uygunluk kontrolünün kâğıt üzerinde değil, BIM tabanlı özel yazılımlar aracılığıyla oluşturulan BIM modelinin dışa aktarımının yapıldığı IFC verisi üzerinden yapılması avantajını da beraberinde getirmektedir (Eastman vd, 2009, 1025-1030).

buildingSMART International'a göre bir IFC veri modelinin genel şeması dört katmana ayrılmaktadır. Katmanlar arası sıkı bir referanslama hiyerarşisi vardır. Referanslama kuralı yalnızca bir üst katmandan alt katmana doğru gerçekleşmektedir. Tüm katmanlar kaynak katmanındaki verilere referans verebilir. Katmanlar sırasıyla şunlardır:

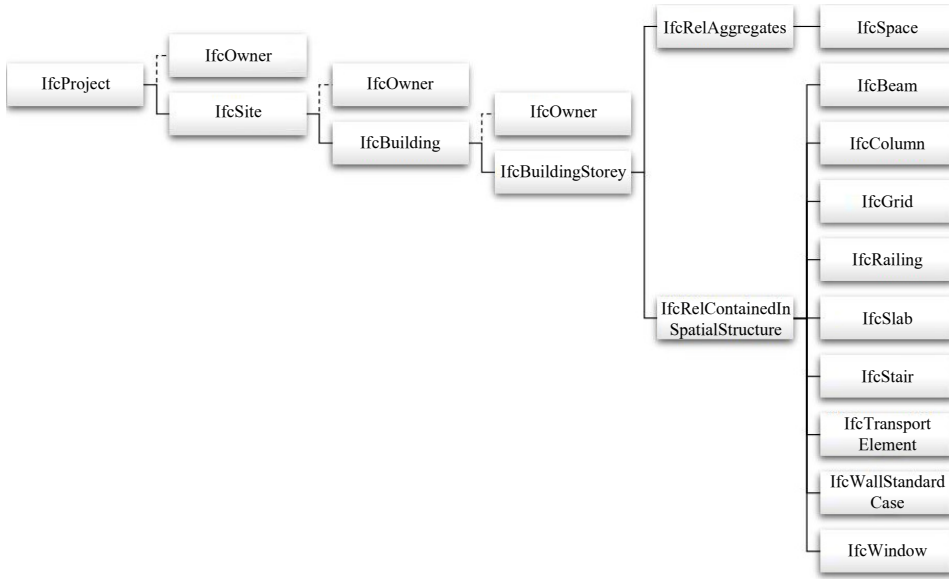
- Alan Katmanı (*Domain Layer*), belirli bir disipline özgü ürün, süreç veya kaynakların varlık tanımlarını içerir. Bu tanımlar genellikle alan içi bilgi alışverişi ve paylaşımında kullanılır.
- Birlikte Çalışabilirlik Katmanı (*Interoperability Layer*), alan katmanı mo-

dellerinin farklı disiplinler arasında birlikte çalışabilirliğini sağlamak için bir değişim mekanizması sunar. Belirli bir disipline özgü ürün, süreç veya kaynakların varlık tanımları arası inşaat bilgilerinin paylaşımı için kullanılır.

- Çekirdek Katmanı (*Core Layer*), bina elemanları ve özellikleri arasındaki ilişkiye dayanan bir IFC genişletme aracı sağlar. Bu katman kontrol uzantısı, ürün uzantısı, süreç uzantısı ve çekirdek modüllerini içerir.
- Kaynak Katmanı (*Resource Layer*), bina elemanlarını tanımlayan kaynakları içerir. Bunlar veri, zaman, malzeme, geometrik kısıtlamalar, geometri, model, miktar, topoloji, sunum, görünüm, temsil, kısıtlama, onay, maliyet vb. kaynaklardan oluşur.

IFC'nin hiyerarşik bir örneği Şekil 2'de gösterilmiştir. BIM yazılımı aracılığıyla BIM modeli oluşturulan bir bina projesinin IFC formatında ilk karşılığı IfcProject'dir. IfcProject, projeye ait temel bilgileri içerir. BIM modeli her zaman bir proje sayısını temsil ettiği için IfcProject sayısı bir olmak zorundadır. Bunun dışındaki durumlar için IFC'den bahsetmemiz mümkün değildir. IfcProject her zaman proje sahibini temsil eden IfcOwnerHistory'ye bağlıdır. IfcSite, projenin yer aldığı üzerine inşa edileceği site veya alan bilgisini içerir. Proje birden fazla site üzerinde yapılabilir. Bu yüzden IfcProject dışında IFC türlerindeki sayılar birden fazla olabilir. IfcBuilding, projede yer alan bina veya binaların bilgilerini içerir. IfcBuildingStorey ise binada yer alan kat sayılarını sıralayarak her katın bilgisini listeler. Bundan sonra IfcBuildingElement olarak nitelendirdiğimiz bina elemanlarının bilgileri sıralanır. Projede yer alan bina elemanlarının listesi iki şekilde sıralanır:

- Oda, mekân, mahal zone vb. temsil için kullanılan IfcSpace'lerin IfcBuildingStorey'e mantık ilişkisi IfcRelAggregates ile kurulur. IfcRelAggregates aracılığıyla tüm IfcSpace'ler burada sıralanır.
- IFC içinde IfcSpace dışında yer alan diğer tüm bina elemanlarının IfcSpa-



Şekil: 2

IFC hiyerarşisinin basitleştirilmiş bir örneği.

ce'lerin IfcBuildingStorey'e mantık ilişkisi IfcRelContainedInSpatialStructure ile kurulur. IfcSpace dışındaki IfcBeam, IfcColumn, IfcRailing, IfcSlab, IfcStair, IfcDoor, IfcWindow vb. tüm bina elemanları burada listelenir.

IFC spesifikasyonu ilk olarak International Interoperability Alliance (IAI) tarafından, günümüzde ise BuildingSMART International tarafından geliştirilmekte, güncellenmekte ve sürdürülmektedir. IFC, AEC endüstrisinde bilgi alışverişi ve birlikte çalışabilirliği geliştirmek için kullanılan en uygun veri standartlarından biri olarak kabul edilmektedir. Şekil 3'de görüldüğü gibi, IFC 1.0'in oluşturulduğu 1997 yılından bu yana IFC'nin farklı versiyon-

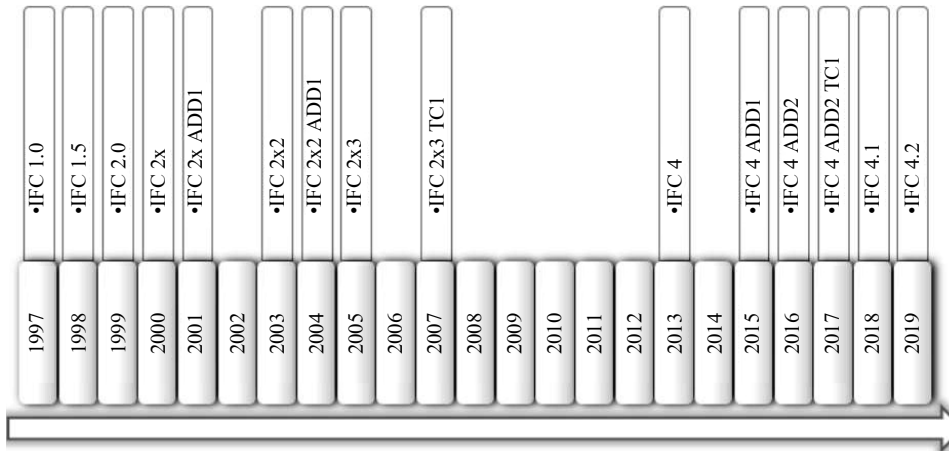
ları piyasa sürülmektedir. 1997'de IFC 1.0, 1998'de IFC 1.5, 1999'da IFC 2.0, 2001'de IFC 2x, 2003'te IFC 2x2, 2005'de IFC 2x3, 2013'te IFC 4, 2018'de IFC 4.1 ve 2019'da IFC 4.2 olmak üzere IFC'nin versiyonları inşaat sektörünün ihtiyacını karşılamak için geliştirilmekte, güncellenmekte ve piyasa sunulmaktadır.

3. ACCC Tarihçesi

AEC endüstrisinde tasarım uygunluğunu otomatikleştirmeye yönelik ilk çalışmalar 1960'lara dayanmaktadır. 1966 yılında Fenves tarafından önerilen AISC şartnamesi örnekleminde birbiriyle ilişkili karar tablolarının temsil edildiği pratik bir uygulaması ilk çalışma olarak gösterilir (Fenves 1966, 473-490). 1969 yılında Fenves, yönetmelik kurallarının ve koşullarının

Şekil: 3

IFC versiyonunun zaman çizelgesi.



uygulanabileceği karar tablolarının farklı kombinasyonlarını oluşturmuştur. AISC şartnamesi örneğinde birbiriyle ilişkili karar tablolarının temsil edildiği pratik bir uygulama olmuştur (Fenves vd. 1969). Fenves'in başarılı uygulamasından sonra, çalışmayı daha ileriye götürmek için araştırma çalışmaları önerilmiştir. 1984 yılında Pesquera ve arkadaşları tarafından Çelik strüktürlerinin AISC şartnamelerine göre tasarım uygunluğu için STEEL-3D olarak bilinen üç boyutlu grafiksel bir CAD sistemi geliştirilmiştir. STEEL-3D'nin temel amacı, iki ve üç boyutlu çelik konstrüksiyonlu binaların tasarımı için gerekli tüm araçları sağlamaktır (Pesquera vd. 1984, 83-91). 1985 yılında Carnegie Mellon Üniversitesi'nde Noland ve Bedell tarafından basit desteklenen prizmatik betonarme kirişlerin tasarımı için bir otomatik kontrol yazılım aracı oluşturulmuştur (Noland ve Bedell 1985, 71-82). Aynı yılda Austin Üniversitesi'nde Jaeger ve Harelik tarafından bir otomatik bina yönetmelik uygunluk kontrol sistemi geliştirilmiştir (Jaeger ve Harelik 1985). 1987 yılında Fenves ve arkadaşları tarafından bina yönetmeliklerini daha geniş kapsamlı temsil etmek için Standart Analiz, Sentez ve Değerlendirme (Standards Analysis, Synthesis and Evaluation, SASE) biçimsel dili geliştirilmiştir (Fenves vd. 1987). 1985 yılında Lopez ve arkadaşları tarafından Fenves'in SASE çalışmasına ek olarak bilgisayar destekli tasarım için standart arayüzü olan SICAD sistemi geliştirilmiş ve uygulanmıştır. SICAD, uygulama programı veri tabanlarında tarif edilen tasarım bileşenlerinin kontrolünü göstermek ve tasarım standartlarına uygunluğunu kontrol etmek için geliştirilmiş bir yazılım prototipidir (Lopez vd. 1985).

Sayısız fazla olan ve güncellenen yönetmelikleri takip etme zorluğu sorununa yönelik, daha az belirsiz ifadelerin yer aldığı ve anlaşılması net ifadelerden oluşan bina yönetmeliklerini standartlaştırmak için özel yazılım araçları kullanılabilir fikri ortaya çıkmıştır. Bu fikri gerçekleştirmek için 1987 yılında Finlandiya'daki VTT Teknik Araştırma Merkezi tarafından bina standartlarının bilgisayarlaştırılmasına

yönelik bir dizi prototip sistemi önerilmiştir. Soru-Cevap şeklinde çalışan prototip sistemi, bir uzman sistemine sahiptir. İlk uygulaması, bilgisayar tarafından bina modellerini yangın yönetmeliğine göre uygunluğu olmuştur (Kähkönen ve Björk 1987). Aynı yılda Garrett ve Fenves tarafından, standart-bağımsız bir yaklaşım kullanarak bina elemanlarının kesitlerini boyutlandırmak ve oranlamak için standart işleme uzmanı SPEX (Standards Processing Expert) sistemi geliştirilmiştir. SPEX, belirlenmiş bir tasarımın niteliklerini temsil eden bir dizi temel veri ögesini referans olarak SICAD sistemi aracılığıyla çalışan bir tasarım standart modelidir. SPEX, üç temel bilgiyi kullanarak bina elemanlarının otomatik olarak tasarlandığı bir tasarım stratejisi sunmaktadır. Bunlar bina elemanlarının tasarım standart bilgisi, bina elemanlarının geometrik ilişkiler bilgisi ve tasarım uzmanlığı bilgisidir (Garrett ve Fenves 1987, 219-238).

1990 yılı itibarıyla bina yönetmelik uygunluk kontrolünün otomatik gerçekleştirilmesi konusundaki çalışmaların IFC desteğinin sağlanmasıyla, çalışma sayısında artış olmuştur. 1997 yılında, IAI tarafından birlikte çalışabilirlik için yeni bir IFC 1.0 standardı tanıtılmıştır (ISO 10303-11 1997). Günümüzde son sürümü IFC 4x2 olmak üzere IFC'nin versiyonları inşaat sektörünün ihtiyacını karşılamak için buildingSMART International tarafından geliştirilmekte, güncellenmekte ve piyasa sürülmektedir. Ayrıca IFC, BIM tabanlı yazılımlar tarafından desteklenmektedir. Dolayısıyla, BIM ve IFC'nin otomatik bina yönetmelik uygunluk kontrolünde önemli ilerlemeler sağlayacağı günümüzde de hala kabul edilmektedir. Bu birlikteliğin en erken çalışmalarından birisi olan 1998 yılında Han, Kunz ve Law tarafından önerilen bina yönetmelik uygunluk kontrol sistemine entegre bir İstemci-Sunucu Yaklaşımı'dır (Han vd. 1998, 537-548). Sonuç ürün olarak bina modelinin, tasarımı açısından bina yönetmeliğine göre analiz etmek için web tabanlı istemci-sunucu ilişkisine dayanan bina yönetmelik uygunluk kontrol sistemi oluşturulmuştur. Devamında 1995 yılında

Huuskonen ve Kaarela tarafından BIM ile birlikte çalışan bilgi tabanlı bir tasarım otomasyon aracı olan Design++ geliştirilmiştir. Design++, nesnelere otomatik olarak oluşturmak için bir dizi üretken kural sağlamaktadır. 1990'lardaki uzman sistemlere benzeyen Design++ tüm kuralları uygulamaya yönelik kodlanmakta ve sadece uygulama içinden erişilmektedir (Huuskonen ve Kaarela 1995, 417-422). 2002 yılında Han ve arkadaşları tarafından Amerikan Engellilik Yasası'na (ADA) göre engelli tekerlekli sandalye kullanıcılarının erişilebilirlik yönetmelik kontrolü için bir simülasyon yaklaşımı geliştirilmiştir (Han vd. 2002, 53-71).

Bu yaklaşımlar, birçok sanayi merkezli çalışmalara zemin hazırlamıştır. 1995 yılında, iki boyutlu bina proje çizimlerinin yönetmelik uygunluk kontrolünü otomatikleştirme düşüncesine odaklanan CORENET araştırma girişimi olmuştur. CORENET, Singapur Ulusal Kalkınma Bakanlığı tarafından zaman, verimlilik ve kaliteyi arttırmak için inşaat ve gayrimenkul sektörüne yeni bir dönüm noktası getirme amacıyla başlatılmıştır. İleri enformasyon sistemleri ile iş süreçlerini yeniden yapılandıran, IFC tabanlı bir enformasyon teknolojisi girişimidir (CORENET 2018). CORENET'in temel amacı tasarım, ihale, inşaat, yıkım, bakım vb. gibi bina yaşam döngüsünün çeşitli süreçlerinde toplam birlikte çalışabilirliği kolaylaştıran bir enformasyon altyapı sistemini oluşturmaktır. Bu sistem, üç modülden oluşmaktadır. Bunlar: CORENET e-Submission, CORENET e-PlanCheck ve CORENET e-Info. CORENET kendisinden sonraki birçok ACCC sistemlerine öncülük etmiş, gelişmiş bir sisteme sahiptir. Öncülük ettiği çalışmalardan birisi Solibri Model Checker (SMC)'dir. SMC, IFC verisini okuyan, IFC verilerine erişimi sağlayan, bina yönetmelik uygunluk işlemini kolaylaştıran, Java tabanlı bağımsız bir platform uygulamasıdır (SMC 2018). SMC, BIM modellerinde bulunan bilginin elde edilmesi, analiz edilmesi ve değerlendirilmesi için çeşitli fonksiyonlara sahiptir. SMC, bina elemanlarının temel geometrik özellik ve öznitelik hatalarının

tespitinin yanı sıra, yangın çıkışları, yol mesafesi denetimi, mekânların alan ve hacim kontrolü vb. gibi program içinde yerleşik kural denetimlerine sahiptir (Corke 2013; SMC 2018).

2007 yılında ABD tarafından kuralların kontrol işlemi için SMC yazılımını kullanan, BIM modellerinin yönetmelik kontrolünü gerçekleştirmek için çeşitli kurallar geliştiren ABD Genel Hizmetler İdaresi (The US General Services Administration, GSA) girişimi başlatılmıştır (GSA 2018). GSA, BIM modeli uygulamasının ve doğrulamasının ana uygulayıcılarından biridir. GSA tarafından 2007 yılı itibarıyla bir dizi BIM Kılavuzu yayınlanmaktadır. İlk kılavuz BIM Kılavuzu 01 ve son kılavuz BIM Kılavuzu 07 Bina Elemanları'dır. Gelecekteki tüm kurulumlar için BIM modellerinin GSA'nın BIM kılavuzlarına uygun teslim edilmesinin zorunlu hale geleceği düşünülmektedir. Ayrıca GSA, Georgia Institute of Technology tarafından geliştirilen Tasarım Değerlendirme Aracı (Design Assessment Tool, DAT) ile ABD'deki adliye binalarının sirkülasyonu ve güvenlik doğrulaması için bir kural kontrol sistemi geliştirmiştir (Eastman vd. 2009, 1014-1025). DAT tasarım kuralları, adliye binaları için sirkülasyon ve güvenlik kurallarından oluşmaktadır (CDG 2007). SMC için geliştirilen bir başka çalışma ise, 2006 yılında AEC3 ve Digital Alchemy tarafından desteklenen SMARTcodes geliştirme konsepti olmuştur (AEC3 2006). SMARTcodes kavramı, birlikte çalışabilirlik için yazılı bina yönetmeliklerini bilgisayar tarafından okunabilen, yorumlanabilen bina yönetmelik kodlarına dönüştürülmesi fikri üzerine kurulmuştur. SMARTcodes projesi, Uluslararası Kod Konseyi (The International Code Council, ICC) kodlarının ve ICC'nin federal, eyalet ve yerel olarak kabul edilmiş sürümlerinin ACCC uygulamasını sistematik hale getirmeye ve otomatikleştirmeye odaklanmıştır. SMARTcodes uygulaması 2007 ve 2008 yıllarında çeşitli projelerde kullanılmıştır. Fakat, 2008'de başlayan durgunluk ve kriz nedeniyle desteklediği parasal fonunu kaybetmiştir. Son zamanlarda,

ICC, SMC ve Fiatch geliştiricileriyle birlikte AutoCodes yazılımını oluşturmak için ortak bir proje başlatılmıştır. AutoCodes projesi, ABD’de bina modellerini bina yönetmelik uygunluk kontrolünü gerçekleştiren bir prototip sistemidir (Fiatch 2011). Manuel olarak elle yapılan kâğıt çıktısına bağlı tasarım kontrol sürecini, sayısal veri ve teknolojiden yararlanarak bilgisayar ortamında yönetmeliklere göre oluşturulan bina yönetmelik kodlarına göre gerçekleştirilmesini sağlar (ICC 2018).

Express Data Manager (EDM), 1998 yılında Norveç’te Jotne EPM Technology tarafından karmaşık ürün veri modellerini yönetmek için bir nesne veritabanı olarak geliştirilmiştir. EDM, EXPRESS modelleme dilini kullanarak, EDMmodelChecker dâhil olmak üzere birkaç ek modülü içermektedir (ISO 10303-11 1997; Jotne IT 2018). EDMmodelChecker, bir verisetini doğrulamak veya EXPRESS şemasında tanımlanan kural ve kısıtlamaları daha uygun hale getirmek için kullanılabilir. EDM; veri alışverişi, veri paylaşımı, veri entegrasyonu ve veri arşivleme gibi iş sorunları çözümleriyle birlikte kullanıcılara işlevsel sunmaktadır. 2000 yılında IFC verilerinin genişletilmiş görünümünü oluşturan bir C++ nesne kütüphanesi olan FORNAX, Singapur merkezli e-devlet çözüm sağlayıcısı olan NovaCITYNETS Pte. Ltd. firması tarafından EDMmodelChecker için geliştirilmiştir (novaCITYNETS 2000). FORNAX nesnelere, bina yönetmelik kodlarının koşul ve şartlarına göre genişletilebilecek şekilde tasarlanmış ve özelleştirilmiştir. Ayrıca, e-PlanCheck için bina yönetmeliklerinin kullanıldığı ve bina yönetmelik kodlarının oluşturulduğu bir geliştirme ve uygulama platformu da sunar (Khemlani 2005, 85-90). 2001 yılında ABD merkezli GTPPM (Georgia Tech Process to Product Modeling), IFC görünümünü veya CIS/2 uyum sınıflarını üretmek için ürün modellemesine sistematik bir yaklaşım olarak önerilmiştir (Crowley 2001). GTPPM, dinamik bilgi tutarlılık kontrol kuralları olarak adlandırılan bilgi türleri arasında bir dizi mantık kuralı tanımlar. Bu kurallar, ürün modelleyicilerinin GTPPM’i IFC görünümü oluşturma

yöntemi olarak kullanmasını sağlar (Lee vd. 2006, 1715-1724).

2000 yılı itibarıyla bina yönetmelik uygunluk kontrolü alanına öncülük eden Singapur ve ABD dışında ülkelere özgü ACCC sistemleri geliştirilmeye başlanmıştır. 2004 yılında CORENET sistemini benimseyen ve Norveç Yapı ve İnşaat Endüstrisi tarafından yönetilen Norveç merkezli bir e-devlet sistemi olan STATSBYGG önerilmiştir (Haraldsen vd. 2004, 44-70). STATSBYGG, bir e-devlet sistemidir ve üç modüle sahiptir. Bunlar: bilgi sistemi, bina başvuru e-gönderim sistemi ve imar teklif sistemidir. Norveçli geliştiriciler, 2010 yılı itibarıyla bina projelerinin yaşam döngüsü boyunca IFC tabanlı BIM özelliklerini kullanmak için IFC kullanımını genişletme çabalarının bir parçası olarak STATSBYGG sistemi kullanılmaktadır (Sjogren 2007; Statsbygg 2018). 2006 yılında Avustralya’daki CRC İnşaat İnovasyonu’nun araştırma ekibi tarafından geliştirilen DesignCheck, bir bina yönetmelik uygunluk kontrol sistemidir (Ding vd. 2006a, 117-120). DesignCheck, bina yönetmeliklerinin tasarım gereksinimleri kodlamak için EDM’yi kullanan nesne tabanlı bir kural sistemi geliştirmiştir. DesignCheck, genişletilmiş tasarım bilgilerinin modellenmesi için IFC’yi kullanmaktadır. Tasarımın kavramsal aşaması, proje aşaması ve inşaat aşaması gibi tasarım süreci boyunca seçilen nesnelerin kontrol edilmesini sağlamaktadır (Ding vd. 2006b, 1-16). 2009 yılında Eclipse Foundation tarafından hidrotermal odaklı bina kabuk performansını değerlendiren ACCBEP (Automated Code Compliance Building Envelope Performance), Kanada merkezli bir ACCC uygulamasıdır (Tan vd. 2010, 203-211). Eclipse Foundation tarafından Eclipse ortamında Java programlama dili kullanılarak geliştirilmiştir. ACCBEP’in dört modülü bulunmaktadır (Tan vd. 2010, 203-211). Bunlar: veri entegrasyon modülü, bina ve bileşen görselleştirme modülü, bina kabuk performans hesaplama modülü ve bina yönetmelik uygunluk kontrol modülüdür. 2013 yılında Porto Üniversitesi Mühendislik Fakültesi tarafından

Portekiz yönetmeliğine göre evsel su sistemi şebekesi projeleri için otomatik bina yönetmelik uygunluk kontrolünü sağlayan LicA yazılım sistemi geliştirilmiştir (Martins ve Monteiro 2013, 12-23). LicA'nın bina yönetmelik uygunluk kontrol sistemi, geleneksel ilişkisel veri tabanına dayanmaktadır. LicA, IFC veri formatını desteklememektedir. Bu yüzden kendine özel bir uygulamaya sahiptir. LicA'nın grafiksel kullanıcı arayüzü olan LiCAD, sonuçların hem grafik hem de yazısal formlarda gösterilmesini sağlar.

Güney Kore'nin bina yönetmelik uygunluk kontrolüne yönelik çalışmalarından bazıları, yüksek binaların güvenlik yönetmeliğine odaklanmıştır. Örneğin, I. Kim, J. Choi ve G. Cho, tahliye asansörünün ve güvenlik tahliye bölgesinin kontrolü için SMC ve API'yi kullanarak kurallar geliştirmiştir (Kim vd. 2013, 83-92). Diğer bir çalışma açık BIM tabanlı süreç kullanılarak Güney Kore Yapı Kullanma İzni Yönetmeliği'nin kontrol listesine dayanan bina izinleri ve diğer bina yönetim süreçleri için bir bina yönetmelik uygunluk kontrol sisteminin geliştirilmesidir (Choi vd. 2014). Bu çalışma IFC Pset (sürümü için özellik kümesi) temel alınarak hazırlanmıştır. IFC için özellik set tanım (property set definitions, PSD) şeması içermektedir. PSD'nin amacı, IFC özelliklerinin dışındaki özellik kümelerini tanımlamak için bir XML şeması tanımı sağlamaktır. PSD, geçerli IFC elemanlarının veya türlerinin bilgilerini içermektedir (buildingSMART International 2016). Bir başka çalışma ise H. Lee ve arkadaşlarının insan tarafından okunabilen yönetmelik madde cümlelerinin, bilgisayar tarafından okunabilen bina yönetmelik kodlarına dönüştürülmesi çalışmasıdır (Lee vd. 2015, 101-105). Bu çalışmada, Güney Kore Bina Yönetmeliği'ndeki doğal dil cümlelerini yürütülebilir ve bilgisayar tarafından okunabilir biçime dönüştürmek için mantık temelli bir mekanizma kullanılmıştır. Diğer bir çalışma, H. Lee, S. Park, I. Kim ve J. Lee tarafından BIM tabanlı tasarım uygunluk kontrol sistemi için Güney Kore Mimari Yönetmelik maddelerine mantıksal kural-temelli bir yaklaşım geliştirilmiştir. Yönetmelik metnini mantıksal

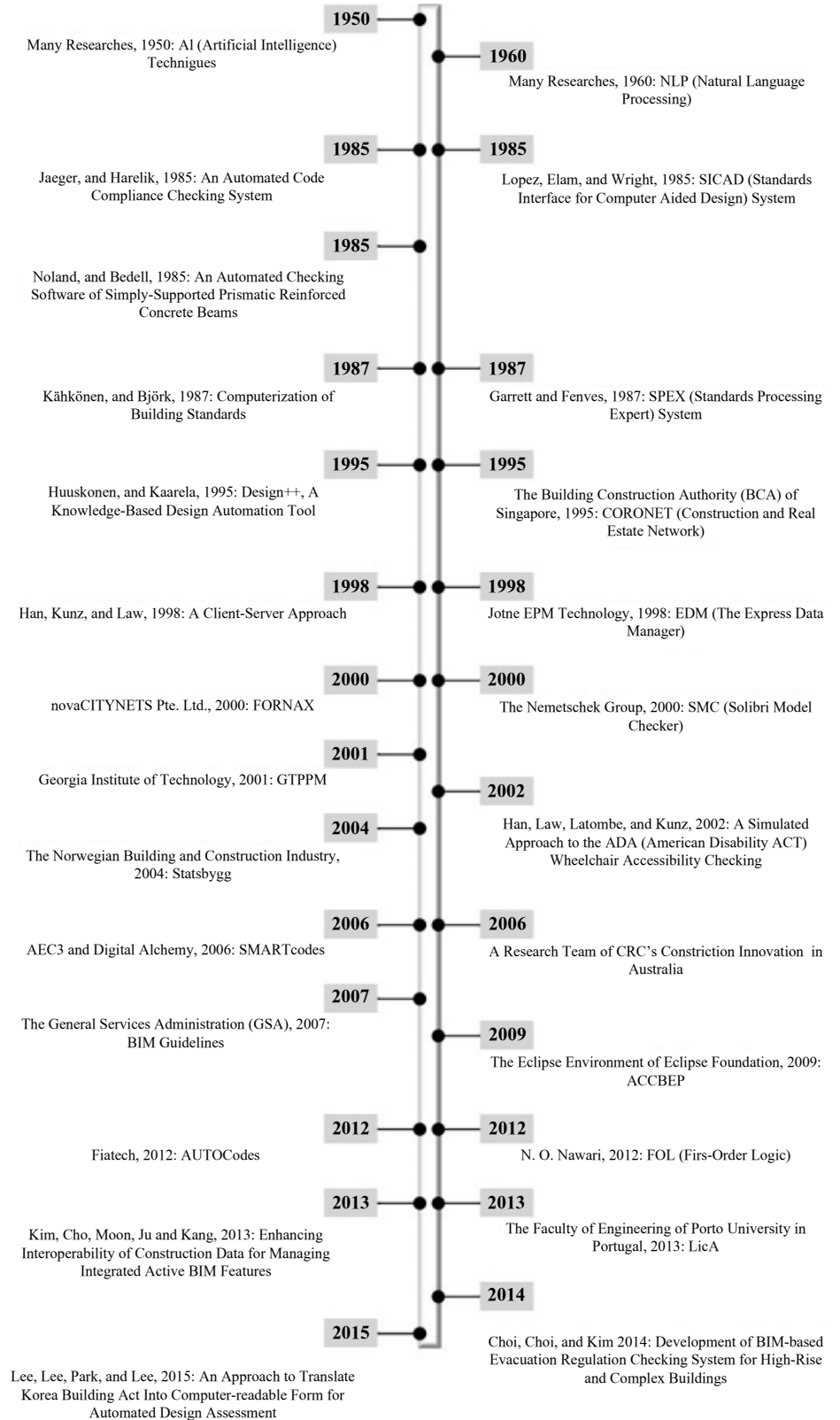
kural tabanlı bir çerçeve içinde bilgisayar tarafından okunabilir bir formata dönüştürmek için bir çeviri sürecini tanımlamıştır (Lee vd. 2015, 106-110).

ACCC alanındaki insan benzeri zekanın fikri olan Yapay Zekâ (Artificial Intelligence, AI) yöntemleri, bilgisayar aracılığıyla yasal düzenleme ve yönetmelik gerekliliklerini kodlayarak ACCC sürecini tamamen otomatik hale getirmeyi amaçlamıştır. AI yöntemleri genellikle, dil ifadelerinin olasılık dağılımını tahmin eden Doğal Dil İşleme (Natural Language Processing, NLP) tekniklerinin kullanımına dayanır. NLP, doğal dil ve bilgisayar arasındaki etkileşimle ilgilidir. NLP'nin amacı, bir kişinin ve bir makinenin doğal olarak iletişim kurmasını sağlayan dilin ve üretim teorisinin kavranmasını sağlamaktır. İki tür AI yaklaşımı önerilmiştir (Crowston vd 2010, 1-2). Kural tabanlı yaklaşımda (a rule-based approach), belgeleri işlemek için manuel olarak geliştirilmiş kurallar kullanılır. ML tabanlı yaklaşım (a ML (machine learning)-based approach), mevcut verilerden veya önceki deneyimlerden öğrenilen bir sistemi ifade eder ve metin işlemek için ML algoritmaları kullanılır. Başka bir sınıflandırma biçimi olarak AI yöntemleri, kullanılan NLP tekniklerinin metin işleme üzerindeki farklılığına ve vurgusuna göre sığ ve derin yaklaşım (shallow and deep approaches) olarak sınıflandırılmıştır.

Günümüzde, yasal kaynaklardan veri elde eden ve güncel tutulan bina yönetmeliklerinin ve standartlarının hesaplanabilir bir temsilini oluşturmak için yapılan çalışmalar devam etmektedir. Şekil 4'te gösterildiği gibi bina yönetmelik uygunluk kontrol sistemlerinin tarihsel sürece göre gelişimi listelenmiştir. Araştırmacılar AEC endüstrisinde standartların ve yönetmeliklerin pratik olarak hesaplanabilir bir temsili için daha kalıcı bir çözüm arayışı içindedirler. Bina yönetmeliklerinin alan bilgi gösterim çalışmalarıyla gelişen BIM sayesinde AEC endüstrisinde bina yönetmeliklerine ve standartlarına göre uygunluğunun otomatik veya yarı otomatik olarak kontrol edilmesini sağlayan çeşitli ulusal ve uluslararası ACCC sistemleri geliştirilmektedir.

Şekil: 4

Bina yönetmelik uygunluk kontrol sistemleri-
nin tarihsel süreçte göre gelişimi.

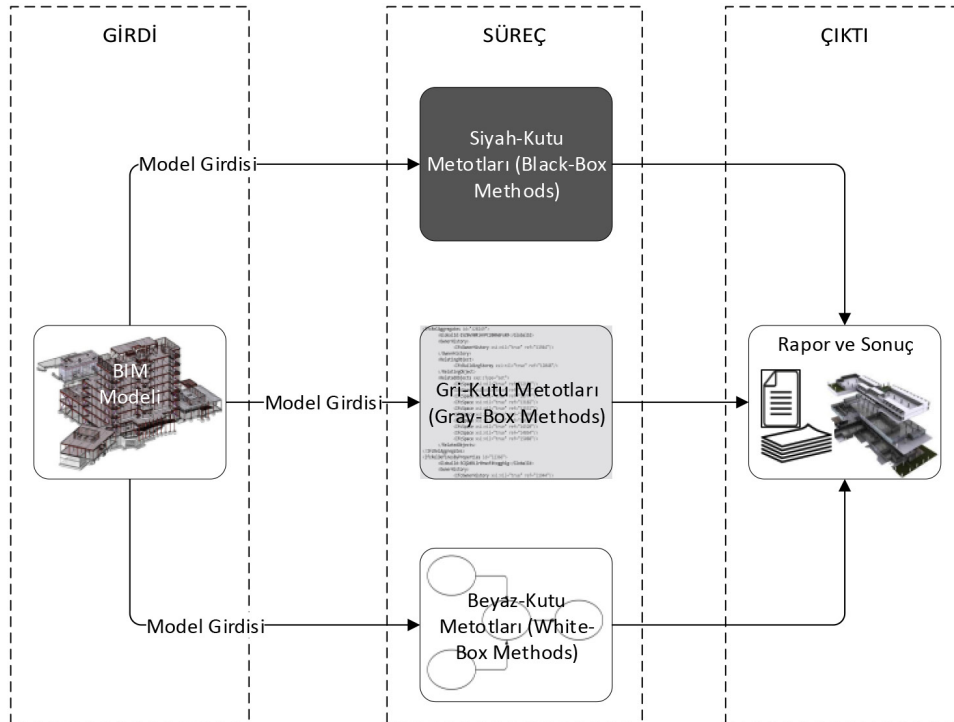


4. ACCC Sistemleri

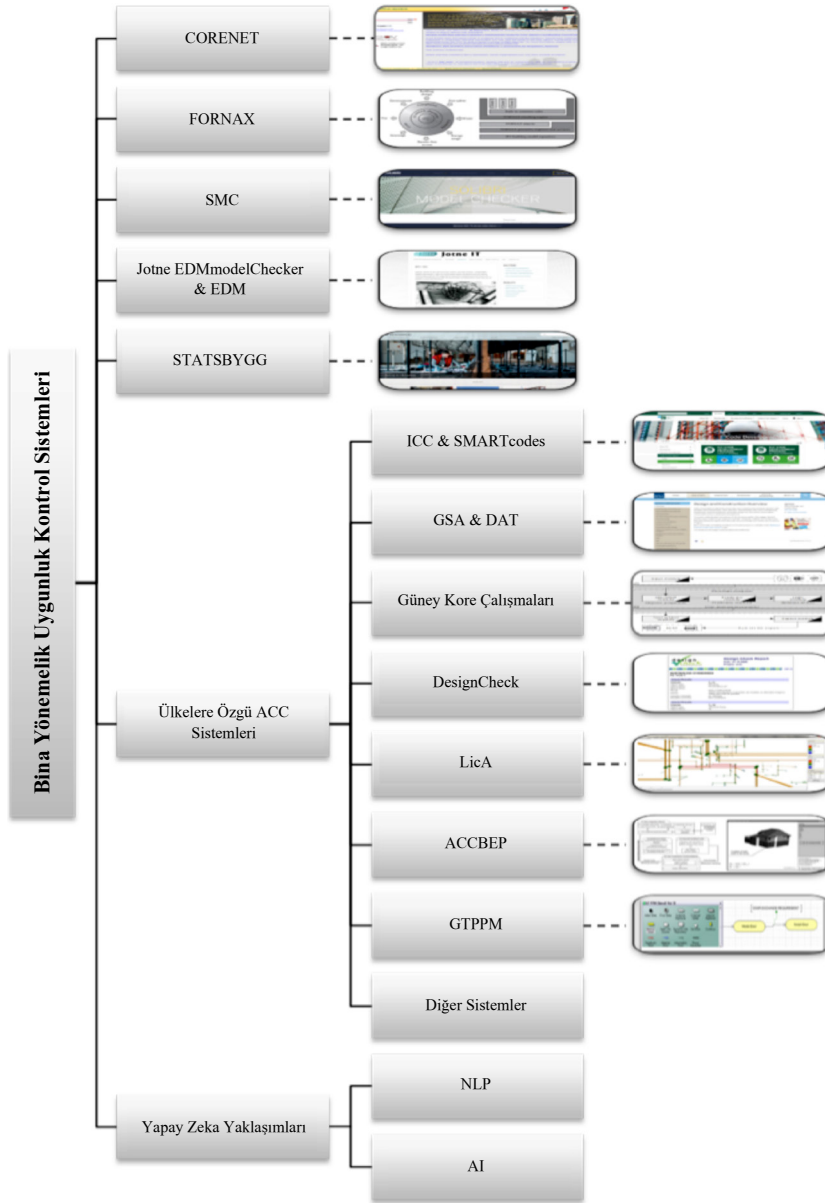
Günümüzde, otomatik bina yönetmelik uygunluk kontrol sistemlerinin uygulama yönlerini desteklemek için geliştirilmiş bir dizi yazılım platformu bulunmaktadır. Bu sistemlerin birbirinden farklılık gösterdiği özellikleri vardır. Bunlar tasarım kontrol sürecini otomatikleştirme, tasarım bilgisini modelleme, bina yönetmeliklerini kodlama, raporlama, üç boyutlu görselleştirme ve diğer uygulamalarla entegrasyon yeteneğidir. Şekil 5, farklı bina yönetmelik uygunluk kontrol sistemlerinin konsept diyagramı gösterilmiştir. Bu sistemlerin girdisi için bir BIM modeline ihtiyaç vardır. Süreç kısmında, üç yöntem kullanılmaktadır. Bu sistemlerin bir kısmı siyah-kutu yöntemleri (*black-box methods*) olarak kabul edilir. Bu yöntemde kullanıcılar, kural oluşturma motoruna (*rule-making engine*) erişimi kısıtlıdır. Yani kullanıcıların kural oluşturma özellikleri yoktur. Diğer yöntemler ise, kullanıcıların çeşitli kişiselleştirme ve etkileşim derecelerine sahip olduğu, gri-kutu yöntemleri (*gray-box methods*) veya beyaz-kutu yöntemleridir (*white-box methods*). Bu yöntemlerde kullanıcıların kural oluşturma özellikleri bulunur.

Fakat kuralların önem derecesi kullanıcının özelliğine göre değişebilir. Bazı kullanıcılar kuralları güncelleştirme yetkisine sahipken, bazıları sadece basit düzeyde kural oluşturma yetkisine sahip olabilir. Bu tamamen sistemlerin kullanıcılara sunmuş olduğu hizmetlerle ilgilidir. Sistemler genel olarak yönetmelik kontrolü gibi önemli bir hizmeti sağladıklarından, sistemlerin kural oluşturma motorları için siyah kutu yöntemleri daha çok tercih edilmelidir. Sistemlerin çıktısı; bir rapor, onay, sonuç, BIM modelinin uygulanması, vb. olabilir. Şekil 6'da bina yönetmelik uygunluk kontrol sistemlerinin listesi ve mevcut web sitelerinin kullanıcı ara yüzleri gösterilmiştir. Bina yönetmelik uygunluk kontrol sistemlerinin tarihsel sürece göre gelişiminde elde edilen ACCC sistemleri şunlardır:

- CORENET
- FORNAX
- SMC
- Jotne EDMmodelChecker & EDM
- STATSBYGG
- Ülkelere özgü ACCC sistemleri
 - o ICC & SMARTcodes



Şekil: 5
Bina yönetmelik uygunluk kontrol sistemlerinin konsept diyagramı.



Şekil: 6
Bina yönetmelik uygunluk kontrol sistemleri-
nin listesi ve kullanıcı ara yüzleri.

- o GSA & DAT
- o Güney Kore Çalışmaları
- o DesignCheck
- o LicA
- o ACCBEP
- o GTPPM
- o Diğer Sistemler
 - STEEL-3D
 - SICAD
 - SPEX
 - Design++

- Bina Standartlarının Bilgisayarlaştırılması
- İstemci-Sunucu Yaklaşımı
- Basit Desteklenen Prizmatik Betonarme Kirişlerin Otomatik Kontrol Yazılımı
- Bina Yönetmelik Uygunluk Kontrol Sistemi
- ADA Erişilebilirlik Yönetmelik Kontrolüne Simülasyon Yaklaşımı
- Yapay Zekâ Yaklaşımları
 - o NLP
 - o AI

Tablo 1’de ACCC sistemlerinin adına, yılına, ülkesine, hedef alanına / yönetmeliğine, kontrol platformuna, ekstra özelliklerine, alan bilgi gösterimine, hesaplanabilir modeline, veri standart türüne göre referanslarıyla birlikte sınıflandırılması verilmiştir. Genel olarak ACCC sistemlerine baktığımızda her bir sistem ülkeler tarafından geliştirilmiş veya desteklenmiştir. ACCC sistemleri içinde Tablo 1’de belirtilen özelliklerin tümüne sahip sistemler CORENET, Jotne EDMmodelChecker & EDM, SMC, FORNAX, GTPPM, DesignCheck, ICC & SMARTcodes, GSA & DAT, ACCBEP, STATSBYGG ve LicA’dır. 1984-2015 yılları arasındaki sistemleri destekleyen ülkeler arasında Amerika Birleşik Devletleri, Avustralya, Finlandiya, Güney Kore, Kanada, Norveç, Portekiz ve Singapur yer almaktadır. Sistemlerin çalıştığı hedef alanı bina yönetmelikleri olsa da birçoğu bina kabuk performans yönetmeliği, evsel su dağıtım şebekesi yönetmeliği, güvenlik yönetmeliği, sirkülasyon ve güvenlik yönetmeliği, tekerlekli sandalye erişilebilirlik yönetmeliği, yapı kullanma izni yönetmeliği gibi spesifik yönetmelikleri ele almıştır. Yönetmelik dışında köprü tasarım sistemi, nesne veri tabanı, standart işleme uzmanı, tasarım otomasyonu, ürün modelleme gibi hedef alanlarına odaklanılmıştır. Sistemlerin çalıştığı kontrol platformları arasında ACCC sistemleri, yazılım programlama dilleri, sorgulama dilleri, CAD sistemleri bulunmaktadır. Bu kontrol sistemlerinden EDMmodelChec-

Sistemin Adı	Yılı	Ülkesi	Hedef Alanı / Yönetmeliği	Kontrol Platformu	Sistemin Özellikleri	Alan Bilgi Gösterimi	Hesaplanabilir Modeli	Veri Standartı	Referansı
STEEL-3D	1984	Amerika Birleşik Devletleri	AISC Şartnameleri	STEEL-3D CAD		Karar Tablosu (Decision Tables)	BIM Model	CAD	(Pesquera, Hanna, & Abel, 1984)
SICAD (Standards Interface for Computer Aided Design)	1985	Amerika Birleşik Devletleri	Köprü Tasarım Sistemi	SICAD			BIM Model	CAD	(Lopez et al., 1985)
Basit Desteklenen Prizmatik Betonarme Kirişlerin Otomatik Kontrol Yazılımı	1985	Amerika Birleşik Devletleri	Basit Desteklenen Prizmatik Betonarme Kirişleri				BIM Model	CAD	(Noland & Bedell, 1985)
Bina Yönetmelik Uygunluk Kontrol Sistemi	1985	Amerika Birleşik Devletleri	Bina Yönetmelikleri				BIM Model	CAD	(Jaeger & Harelik, 1985)
SPEX (Standards Processing Expert)	1987	Amerika Birleşik Devletleri	Standart İşleme Uzmanı	SICAD			BIM Model	CAD	(Garrett & Fenves, 1987)
Bina Standartlarının Bilgisayarlaştırılması	1987	Finlandiya	Bina Yönetmelikleri		Prototip System		BIM Model	CAD	(Kähkönen & Björk, 1987)
Design++	1990	Finlandiya	Tasarım Otomasyonu	Design++, House Designer			BIM Model	CAD	(Hauskonen & Kaarela, 1995)
CORENET (Construction and Real Estate Network)	1995	Singapur	Bina Yönetmelikleri	FORNAX	CORENET e-Submission, CORENET e-PlanCheck, CORENET e-Info	Mantık tabanlı Biçimsel Dili (LFL)	BIM Model	IFC	(CORENET, 2018)
Jotne EDMmodelChecker & EDM (The Express Data Manager)	1998	Norveç	Nesne Veritabanı	EDM model Checker, C, C++, Java, .NET		Semantik Web Dili (SWL)	BIM Model	IFC, EXPRESS	(Jotne IT, 2018)
İstemci-Sunucu Yaklaşımı	1998	Amerika Birleşik Devletleri	Bina Yönetmelikleri				BIM Model	IFC	(Han, Kunz, & Law, 1998)
SMC (Solibri Model Checker)	1999	Finlandiya	Bina Yönetmelikleri	Java	Solibri Model Viewer, IFC Optimizer	Kural tabanlı Biçimsel Dili (RFL)	BIM Model, SMC Objects	IFC	(SMC, 2018)
FORNAX	2000	Singapur	Bina Yönetmelikleri	EDM model Checker	e-PlanCheck	Nesne tabanlı Biçimsel Dili (OFL)	BIM Model, C++ Library, FORNAX Objects	IFC	(nova CITYNETS, 2000)
GTPPM (Georgia Tech Process to Product Modeling)	2001	Amerika Birleşik Devletleri	Ürün Modelleme	Checking Engine	Product Modeling Module	Nesne tabanlı Biçimsel Dili (OFL)	BIM Model	IFC, CIS/2	(Crowley, 2001)
ADA Erişilebilirlik Yönetmelik Kontrolüne Simülasyon Yaklaşımı	2002	Amerika Birleşik Devletleri	Tekerlekli Sandalye Erişilebilirlik Yönetmeliği				BIM Model	IFC	(Han, Law, Latombe, & Kunz, 2002)
STATSBYGG	2004	Norveç	Bina Yönetmelikleri	SMC, EDM	An Information System, A Building Application e-Submission System, A Zoning Proposal System,	Karar Tablosu (Decision Tables)	BIM Model	IFC	(Statsbygg, 2018)

ker, Fiatch, FORNAX, SMC gibi önceden geliştirilip daha sonraki sistemlerin kontrol platformu için kullanılmaktadır. Java, C, C++ gibi yazılım programlama dilleri sistemlerin mimarisini oluşturmaktadır. Bazı sistemlerin kullanıcılarına sunduğu ekstra özellikleri vardır. Örneğin CORE-

NET'in CORENET e-Submission özelliği, SMC'nin IFC Optimizer özelliği, LicA'nın LiCAD özelliği, FORNAX'ın e-PlanCheck özelliği vb. sistemler kullanıcılara ekstra özellikler sunmaktadır. Sistemler veri standardı olarak IFC'yi kullanmaktadır. 1997 yılında önerilen IFC 1.0 ilk sürü-

Tablo 1
Bina yönetmelik uygunluk kontrol sistemleri-
nin özelliklerine göre sınıflandırılması.

Sistemin Adı	Yılı	Ülkesi	Hedef Alanı / Yönetmeliği	Kontrol Platformu	Sistemin Özellikleri	Alan Bilgi Gösterimi	Hesaplanabilir Modeli	Veri Standartı	Referansı
DesignCheck	2006	Avustralya	Tekerlekli Sandalye Erişilebilirlik Yönetmeliği	EDM	Designcheck Internal Engine	Nesne tabanlı Biçimsel Dili (OFL), Kural tabanlı Biçimsel Dili (RFL),	BIM Model	IFC	(Ding, Drogemuller, Rosenman, Marchant, & Gero, 2006).
ICC (International Code Council) & SMARTcodes	2006	Amerika Birleşik Devletleri	Bina Yönetmelikleri	ICC, SMC, Fiatch	AutoCodes, SMARTcodes Builder, SMARTcodes Developer	Semantik Web Dili (SWL)	BIM Model	IFC	(AEC3, 2006).
GSA (General Services Administration) & DAT (Design Assessment Tool)	2007	Amerika Birleşik Devletleri	BIM Kılavuzları, Bina Yönetmelikleri, Sirkülasyon ve Güvenlik Yönetmeliği	GSA	DAT	Semantik Web Kural Dili (SWRL),	BIM Model	IFC	(GSA, 2018)
ACCBEP (Automated Code Compliance Building Envelope Performance)	2009	Kanada	Bina Kabuk Performans Yönetmeliği	Java, Java Eclipse Rule Engine, EnergyPlus, ASHRAE, MOIST,	Data Integration Module, Building And Component Visualization Module, Building Envelope Performance Computation Module, Code Compliance Checking Module	XML İşaretleme Dillerini (XML)	BIM Model	IFC, IFCXML	(Tan, Hammad, & Fazio, 2010)
LicA	2013	Portekiz	Evsel Su Dağıtım Şebekesi Yönetmeliği ve Hesaplamaları	LicA	LicAD	XML İşaretleme Dillerini (XML)	BIM Model	LicA File Format	(Martins & Monteiro, 2013)
Güvenlik Tahliye Sistemi	2013	Güney Kore	Güvenlik Yönetmeliği	SMC, API			BIM Model	IFC	(Kim, Cho, Moon, Ju, & Kang, 2013)
Bina İzinleri Sistemi	2014	Güney Kore	Yapı Kullanma İzni Yönetmeliği		Property Set Definitions (PSD)		BIM Model	IFC	(Choi, Choi, & Kim, 2014)
Bina Yönetmelik Kodu Sistemi	2015	Güney Kore	Bina Yönetmelikleri	KBimLogic		Mantık tabanlı Biçimsel Dili (LFL)	BIM Model	IFC	(Lee, Lee, Park, & Lee, 2015)

Tablo: 1 (devamı)

Bina yönetmelik uygunluk kontrol sistemlerinin özelliklerine göre sınıflandırılması.

münden önce sistemler arasında CAD veri standardı kullanıldığı görülmüştür. IFC'nin geliştirilmesiyle birlikte XML olarak gösterimi olan IFCXML, IFC orijinal dili olan EXPRESS ve CIS/2 tercih edilen veri standartlarıdır. Sistemlerin uygunluğunu kontrol ettiği yönetmeliklerin hesaplanabilir temsili için karar tablosu, kural tabanlı biçimsel dili (RFL), mantık tabanlı biçimsel dili (LFL), nesne tabanlı biçimsel dili (OFL), semantik web dili (SWL), semantik web kural dili (SWRL), XML işaretleme dili alan bilgi gösteriminde kullanılmıştır. Şekil 5'de gösterildiği gibi sistemlerin girdisi için BIM modeline ihtiyaç duyulsa da sistemlerin kendine özgü oluşturdukları C++

Library, FORNAX Objects, SMC Objects gibi nesne modelleri de vardır.

5. Değerlendirme ve Sonuç

Bu çalışmada bina yönetmelik uygunluk kontrolü konu alanında farklı yer, zaman ve merkezlerde yapılmış olan çalışmaların sonuçları birleştirilerek ACCC'nin AEC endüstrisindeki genel durumu sergilenmiştir. ACCC'nin tanımı, ACCC'nin tarihçesi, ACCC sistemleri, BIM ve IFC'ye dayalı ACCC yöntemi açıklanmıştır. Mevcut çalışmalar, birçok ülke tarafından çeşitli kural oluşturma yaklaşımlarının ve ACCC'ye uygulanabilirliğini göstermiştir. Güney Kore, Norveç, Portekiz, Amerika Birleşik Devletleri, Avustralya, Singapur vb. ülke-

ler bina tasarımlarının kalitesini arttırmaya yönelik BIM tabanlı ACCC çalışmalarına önem vermiştir. Bu çalışmaların çoğu, özel veya kamu kurumları tarafından finanse edilmiştir ve güncellenerek geliştirilmektedir. Bazı çalışmalar, bina yönetmeliklerinin büyük bir kısmını ele alırken, bazıları sadece yangın, erişebilirlik, evsel su sistemi, güvenlik, bina kabuk performansı, tesisat, otopark vb. düzenlemeleri içermektedir.

Yukarıda bahsedilen konu alanına ilişkin literatür araştırması sonucu elde edilen bina yönetmelik uygunluk kontrol sistemlerine genel olarak baktığımızda çalışmalar bina yönetmelik kontrollerinde karşılaşılan sorunların standardizasyonu ve otomatize edilmesine yönelik çalışmalardır. Karşılaşılan sorunların bazıları şunlardır:

- Yönetmelik uygunluk kontrolünün elle (*manuel olarak*) yapılması,
- Yönetmelik kontrolünün yazılım aracılığıyla otomatik olarak yapılamaması,
- İnsan eliyle yapılan yönetmelik kontrolü sonucu ortaya çıkan hatalar ve suistimaller,
- Yönetmeliklerin sayıca çok ve farklı türde olması, yönetmeliklerin ve yönetmelik maddelerin birbiriyle uyumsuz olması,
- Sürekli güncellenen yönetmeliklerin takip edilememesi,
- Gerekli işlemler için iyi planlanmamış/tanımlanamamış sürelerin olması,
- Gereksiz süreç adımlarından kaynaklanan süre kayıplarının yaşanması,
- Süreçte benzer adımların tekrar etmesi vb.

Çalışmalar farklı ülkelere ait olsa da karşılaşılan sorunlar genel hatlarıyla listelendiğinde diğer ülkeler gibi Türkiye içinde benzerlik göstermektedir. Türkiye’de imar kurallarına ve bina yönetmeliklerine uygun bina üretim sürecinin uygulanmasında önemli bir yere sahip olan yerel ve merkezi yönetimlere yönelik çalışmaların çoğu, süreç iyileştirme ve coğrafi bilgi sistemi konu alanı ile sınırlı kaldığı görülmüştür.

Türkiye’yi diğer ülkelerle kıyasladığımızda, inşaat sektörünün çok yoğun bir şekilde faaliyet göstermesine karşın, yerel yönetimler içinde önemli rolü olan belediyelere yönelik bina yönetmelik uygunluk kontrolü konu alanında çalışma yapılması için geç kalındığı bir gerçektir. Ayrıca BIM teknolojisiyle birlikte tasarım kontrol sürecinin otomatikleştirilmesi, kontrol ve raporlama sistemleri, üç boyutlu görselleştirme, diğer uygulamalarla entegrasyon yeteneği, tasarım bilgisinin modellenmesi, kodlama yapısının esnekliği vb. gibi avantajları ile gelecekte Türkiye adına ACCC sisteminin geliştirilebileceği açıktır●

Kaynakça

- AASHTO. (1998). AASHTO Guide for Design of Pavement Structures, 4th Edition. American Association of State Highway and Transportation Officials.
- AEC3. (2006). An International Consulting Firm, AEC 3 UK Ltd, Retrieved from: http://www.aec3.com/en/5/5_013_ICC.htm [Data of access: 01.01.2018].
- buildingSMART International. (2016). Model Support Group of buildingSMART International, ©buildingSMART International Ltd 1996-2013, Retrieved from: <http://www.buildingsmart-tech.org/about-us/msg> [Data of access: 01.01.2018].
- buildingSMART. (2017). Industry Foundation Classes Release 4 (IFC4), ©buildingSMART International Ltd 1996-2013, Retrieved from: <http://www.buildingsmart-tech.org/ifc/IFC4/final/html/> [Data of access: 01.01.2018].
- CDG. (2007). US Courts design guide. Administrative Office of the US Courts, Space and Facilities Division, Retrieved from: http://www.gsa.gov/graphics/pbs/Courts_Design_Guide_07.pdf [Data of access: 10.02.2010].
- Choi, J. (2014). A Study on the Development of Code Checking System for Building Administration Process Applying Open BIM-based Process. *Master Dissertation, Kyung Hee University*.
- Choi, J., Choi, J., & Kim, I. (2014). Development of BIM-based evacuation regulation checking system for high-rise and complex buildings. *Automation in Construction*, 46, 38–49. Doi: 10.1016/j.autcon.2013.12.005
- CORENET. (2018). CORENET e-Submission System, Government of Singapore© 2018, Retrieved from: <https://www.corenet-ess.gov.sg/ess/> [Data of access: 01.01.2018].
- Corke, G. (2013). Solibri Model Checker v8 Brings BIM Model Quality into Focus with Its Powerful Rules-Based Checking and Auditing Tool. *AEC Magazine*, February 2013.
- Crowley, A. (2001). Questions on CIS/2 Conformance Classes, Retrieved from: <http://www.cis2.org/faq/Implementation/ccs.htm> [Data of access: 01.01.2006].
- Crowston, K., Liu, X., Allen, E., & Heckman, R. (2010). Machine Learning and Rule based Automated Coding of Qualitative Data. In *Proceedings of the 73rd ASIS&T Annual Meeting on Navigating Streams in an Information Ecosystem - Volume 47 (ASIS&T '10)*, Vol. 47. American Society for Information Science, Silver Springs, MD, USA, Article 108, 2 pages.
- Delis, E. & Delis, A. (1995). Automatic Fire-Code Checking Using Expert-System Technology. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 9(2), pp. 141-156. Doi: 10.1061/(ASCE)0887-3801(1995)9:2(141).
- Ding, L., Drogemuller, R., Jupp, J., Rosenman, M., & Gero, J. (2006a). Clients Driving Innovation: Moving Ideas into Practice, Automated Code Checking for Building Designs, *The Cooperative Research Centre (CRC) for Construction Innovations*, Brisbane, Australia, pp. 113-126.
- Ding, L., Drogemuller, R., Rosenman, M., Marchant, D., & Gero, J. (2006b). Automating Code Checking for Building Designs - DesignCheck. In *Clients Driving Innovation: Moving Ideas into Practice, International Council for Research and Innovation in Building and Construction (CIB)*, pp. 1-16. Doi:10.1007/BF01199070.
- Eastman, C. (1999). Building Product Models: Computer Environments Supporting Design and Construction. ISBN:0849302595, CRC Press.
- Eastman, C., Lee, J., Jeong, Y., & Lee, J. (2009). Automatic Rule-Based Checking of Building Designs, *Automation in Construction*, pp. 1011-1033.
- Fenves, S. J. (1966). Tabular Decision Logic for Structural Design, *Journal Of The Structural Division, ASCE*, Volume 92, Issue 6, pp. 473-490.
- Fenves, S. J., Garrett, J. H., Kiliccote, H., Law, K. H., & Reed, K. A. (1995). Computer Representations of Design Standards and Building Codes: U.S. Perspective. *The International Journal of Construction Information Technology*, 3(1), pp. 13–34, Retrieved from: <http://fire.nist.gov/bfrlpubs/build95/PDF/b95012.pdf>.
- Fenves, S. J., Gaylord, E. H. & Goel, S. K. (1969). Decision Table Formulation of the 1969 AISC Specification, in *Civil Engineering Studies, Urbana: University of Illinois*, SRS-347, Retrieved from: <http://babel.hathitrust.org/cgi/pt?id=wu.89038865689;view=1up;seq=9>.
- Fenves, S.J., Wright, R.N., Stahl, F.I. & Reed, K.A. (1987). Introduction to Sase: Standards Analysis, Synthesis and Expression, *Editorial NBSIR (National Bureau of Standards: Washington, D.C.)*.
- Fiatech (2012). AutoCodes Project: Phase 1; Proof of Concept Final Report. Construction Industry Institute, Cockrell School of Engineering, The University of Texas at Austin. Austin, TX: Fiatech Regulatory Streamlining Committee, Retrieved from: http://www.fiatech.org/images/stories/techprojects/project_deliverables/Updated_project_deliverables/AutoCodesPOCFINALREPORT.pdf.
- Garrett, J. H., & Fenves, S. J. (1987). A Knowledge-Based Standard Processor for Structural Component Design. *Engineering with Computers*, 2(4), pp. 219-238.
- Greenwood, D., Lockley, S., Malsane, S., & Matthews, J. (2010). Automated Compliance Checking Using Building Information Models. In: *The Construction, Building and Real Estate Research Conference of the Royal Institution of Chartered Surveyors [Held at Dauphine Université, Paris, 2-3 September 2010]*. RICS, London. ISBN 978-1-84219-619-9.
- GSA (2007). U.S. Courts Design Guide, Administrative Office of the U.S. Courts, Space and Facilities Division, GSA, Retrieved from: http://www.gsa.gov/Portal/gsa/ep/contentView.do?P=PME&contentId=15102&contentType=GSA_DOCUMENT. [Data of access: 01.01.2007].
- GSA. (2018). U.S. General Services Administration, Real Estate, Design & Construction, Retrieved from: <https://www.gsa.gov/real-estate/design-and-construction-overview> [Data of access: 01.01.2018].
- Hakim, M. M., & Garrett, J. H. (1993). A description logic approach for representing engineering design standards. *Engineering with Computers*, 9(2), 108–124.
- Han, C. S., Kunz, J. C., & Law, K. H. (1998). Client/Server Framework for On-Line Building Code Checking. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 12(4), 181–194. Doi:10.1061/(ASCE)0887-3801(1998)12:4(181)
- Han, C., Kunz, J., & Law, K. (1998). A Hybrid Prescriptive/Performance Based Approach to Automated Building Code Checking. *International*

- Computing Congress*, pp. 537-548, Boston, MA: ASCE, Retrieved from: http://eil.stanford.edu/publications/chuck_han/9810%20ICC.pdf.
- Han, C., Law, K., Latombe, J., & Kunz, J. (2002). A Performance-Based Approach to Wheelchair Accessible Route Analysis. *Advanced Engineering Informatics*, 16(1), pp. 53-71. Doi:10.1016/S1474-0346(01)00003-9.
- Haraldsen, M., Stray, T.D., Päivärinta, T., & Sein, M.K. (2004). Developing eGovernment Portals: From Life-Events Through Genres to Requirements. In K.H.R. Rolland (ed.), *Proceedings of 11th Norwegian Conference on Information Systems*, pp. 44-70 Stavanger, Norway.
- Hjelseth, E. & Nisbet, N. (2010a). Exploring Semantic Based Model Checking. *The Proceedings of the 2010 27th CIB W78 International Conference, Cairo, Egypt*: CIB W78, Retrieved from: https://www.academia.edu/873826/EXPLORING_SEMANTIC_BASED_MODEL_CHECKING.
- Hjelseth, E. & Nisbet, N. (2010b). Overview of Concepts For Model Checking. *The Proceedings of the 2010 27th CIB W78 International Conference, Cairo, Egypt*: CIB W78. Retrieved from https://www.academia.edu/873824/Overview_of_concepts_for_model_checking.
- Huuskonen, P. & Kaarela, K. (1995). Explaining Plant Design Knowledge Through Means-End Modelling. In Y. Anzai, K. Ogawa, and H. Mori (Ed.), *Symbiosis of Human and Artifact Future Computing and Design for Human-Computer Interaction: Proceedings of the Sixth International Conference on Human-Computer Interaction (HCI International '95)*, pp. 417-422. Tokyo, Japan: Elsevier. Doi:10.1016/S0921-2647(06)80252-2.
- IAI, (1997). Industry Foundation Classes, Release 1.0 IFC Model Architecture. *International Alliance for Interoperability*. Retrieved from: <http://www.buildingsmart-tech.org/ifc/> [Data of access: 01.01.2018].
- ICC. (2018). The International Code Council, Code Development Process, Retrieved from: <https://www.iccsafe.org/codes-tech-support/codes/code-development/> [Data of access: 01.01.2018].
- ISO10303-11. (1997). Product Data Representation and Exchange Description Methods: The EXPRESS Language Reference Manual. *Industrial Automation Systems and Integration, ISO Central Secretariat*. Retrieved from: <https://www.iso.org/standard/38047.html> [Data of access: 01.01.2018].
- Jaeger, S. & Harelík, L. (1985). Automation Of The Building Code Compliance. *National Bureau of Standards Special Report. US Department of Commerce*.
- Jotne IT. (2018). Jotne Information Technology, BIM/VDC Solutions for the Built Environment, Retrieved from: <http://www.jotneit.no/products/edm-model-server-ifc> [Data of access: 01.01.2018].
- Kähkönen, K., & Björk, B.-C. (1987). Computerization of Building Standards. *Espoo, Finland: VTT Technical Research Centre of Finland Ltd.*
- Khemlani, L. (2005). CORENET e-PlanCheck: Singapore's Automated Code Checking.
- Kim, H. S., Cho, B. N., Moon, H. S., Ju, K. B., & Kang, L. S. (2013). Enhancing Interoperability of Construction Data for Managing Integrated Active BIM Features. *Advanced Materials Research*, 831, 442-445. Doi: 10.4028/www.scientific.net/AMR.831.442
- Kim, I., Choi, J., & Cho, G., (2013). Development of Rule-based Checking Modules for the Evacuation Regulations of Super-Tall Buildings in Open BIM Environments. *Transactions of the Society of CAD/CAM Engineers*, 18(2), pp. 83-92.
- Kiyavitskaya, N., Zeni, N., Mich, L., Cordy, J. & Mylopoulos, J. (2006). Text Mining Through Semi-Automatic Semantic Annotation. *6th International Conference, PAKM 2006 Proceedings*, 4333, pp. 143-154. Vienna, Austria: Springer. Doi:10.1007/11944935_13.16.
- Lee, G., Eastman, C., & Sacks, R. (2006). Generating IFC Views and Conformance Classes Using GTPPM. *Joint International Conference on Computing and Decision Making in Civil and Building Engineering (ICCCBE)*, Montréal, Canada, pp. 1715-1724. Doi: 10.1016/j.ajodo.2005.02.022.
- Lee, H., Lee, S., Park, S., & Lee, J. (2015). An Approach to Translate Korea Building Act into Computer-readable Form for Automated Design Assessment. *Proceedings of the 32nd ISARC*, pp. 1-8.
- Lee, H., Park, S., Kim, I., & Lee, J., (2015). A Logical Rule-based Approach to the Korea Architecture Code Sentences for BIM-enabled Design Assessment Systems. *Journal of Korea Design Knowledge*, 34, pp. 101-110.
- Lee, J. K. (2011). Building Environment Rule and Analysis (BERA) Language and Its Application for Evaluating Building Circulation and Spatial Program, *Ph.D. Thesis, Georgia Institute of Technology*.
- Leibniz. (1666). Dissertation on the Art of Combinations, Leibniz's Habilitation Thesis in Philosophy.
- Lopez, L. A., Elam, S. L., & Wright, R. N. (1985). Mapping Principles for the Standards Interface for Computer Aided Design (NBSIR 85-3115). *Gaithersburg, MD: National Bureau of Standards*.
- Lopez, L., Elam, S., & Reed, K. (1989). Software Concept for Checking Engineering Designs for Conformance with Codes and Standards. *Engineering with Computers*, 5(2), pp. 63-78. Doi:10.1007/BF01199070.
- Manning, C. D., & Schütze, H. (1999). Foundations of Statistical Natural Language Processing. *MIT Press, Cambridge, MA*.
- Martins, J. P., & Monteiro, A. (2013). LicA: A BIM-based Automated Code-Checking Application For Water Distribution Systems. *Automation in Construction*, 29(23), pp. 12-23. Doi: 10.1016/j.autcon.2012.08.008.
- Mazairac, W. & Beetz, J. (2013). BIMQL: An Open Query Language for Building Information Models. *Advanced Engineering Informatics*, 27, pp. 444-456.
- Nawari, N.O. & Alsaffar, A. (2015). Understanding Computable Building Codes. *Journal of Civil Engineering and Architecture*, 3(6), pp. 163-172, San Jose, CA.
- Nawari, N.O. & Kuenstle, M. (2015). Building Information Modeling (BIM): A Framework for Structural Design. *Boca Raton, FL: CRC Press*. ISBN-13: 9781482240436.
- Noland, J. L., & Bedell, R. (1985). Automated Checking of Simply-Supported Prismatic Reinforced Concrete Beams for Compliance with Code Requirements. *National Bureau of Standards Special Report*, pp. 71-82.
- novaCITYNETS. (2000). About Fornax™ - Plancheck

- Expert. Retrieved from: <http://www.novacitynets.com/fornax/about.htm>, [Data of access: 01.01.2018].
- Nyman, D.J., Fennes, S.J. & Wright, R.N. (1973). Restructuring Study of the AISC Specification, *in Civil Engineering Studies Urbana: University of Illinois*, SRS-393.
- Ofluoğlu, S. (2014). Yapı Bilgi Modelleme: Gereksinim ve Birlikte Çalışabilirlik. *Mimarist*, Retrieved from: <http://sayisalmimar.com/2013/12/ybm-gereksinim-ve-birlikte-calisabilirlik/> [Data of Access: 14.02.2017].
- Pesquera, C., Hanna, S., & Abel, J. (1984). Advanced graphical CAD system for 3D Steel Frames. *In Computer Aided Design in Civil Engineering, New York: American Society of Civil Engineers*, pp. 83-91. Retrieved from <http://cedb.asce.org/cgi/WWWdisplay.cgi?41831>.
- Sjögren, J. (2007). BuildingSMART: A Smart Way for Implementation of Standards. Retrieved from: <http://www.plc-sresources.org/papers/sl1000/day3/buildingSMART%20-%20Jons%20Sjogren.pdf> [Data of access: 01.06.2010].
- SMC, (2009). Automated Code Checking for Accessibility. *Solibri Model Checker*. Retrieved from: <http://www.solibri.com/press-releases/solibri-model-checker-v.4.2-accessibility.html> [Data of access: 01.01.2018].
- SMC. (2018). Solibri Model Checker (SMC), *Solibri Inc.* © 2018, A Nemetschek Company. Retrieved from: <https://www.solibri.com/products/solibri-model-checker/> [Data of access: 01.01.2018].
- Sowa, J. F. (2006). The Challenge of Knowledge Soup. In J. Ramadas and S. Chunawala (Ed.), *Research Trends in Science, Technology and Mathematics Education*. Mumbai, India: Homi Bhabha Centre.
- Statsbygg. (2018). Statsbygg System, *Norwegian Directorate of Public Construction and Property*. Retrieved from: <https://www.statsbygg.no> [Data of access: 01.01.2018].
- Tan, X., Hammad, A., & Fazio, P. (2010). Automated Code Compliance Checking for Building Envelope Design. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 24(April), pp. 203-211. Doi: 10.1061/(ASCE)0887-3801(2010)24:2(203).
- Zhang, J. & El-Gohary, N. (2011). Automated Information Extraction from Construction Related Regulatory Documents for Automated Compliance Checking. *Proceedings of the 28th International Conference of CIB W78, Sophia Antipolis, France: CIB W78*, pp. 1-10. Retrieved from: <http://itc.scix.net/cgi-bin/works/Show?w78-2011-Paper-99> [Data of access: 01.01.2018].
- Zhang, J. & El-Gohary, N. (2012). Extraction of Construction Regulatory Requirements from Textual Documents Using Natural Language Processing Techniques. In R. Issa and I. Flood (Ed.), *International Conference on Computing in Civil Engineering*, pp. 453-460. Clearwater Beach, FL: *ASCE American Society of Civil Engineers*. Doi:10.1061/9780784412343.0057.
- Zhang, J. & El-Gohary, N. (2013). Semantic NLP-Based Information Extraction from Construction Regulatory Documents for Automated Compliance Checking. *J. Comput. Civ. Eng.*, 2016, 30(2): 04015014-1-04015014-14, *ASCE American Society of Civil Engineers* Doi:10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000346.