

Yapı Yönetmeliklerinin Sayısal Temsili: Yeni Bir Model

Sibel MACİT^{1, *}, H. Murat GÜNAYDIN²

¹Balıkesir Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Çağış kampüsü, Balıkesir.

²İstanbul Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Taşkışla kampüsü, İstanbul.

Özet

Bu çalışmada, yapı projelerinin ilgili yönetmeliklere göre uygunluklarının denetlenmesi sürecinin otomasyonuna yönelik sayısal yönetmelik temsillerinin oluşturulması için geliştirilen yeni bir temsil modeli anlatılmaktadır. Geliştirilen temsil modeli, düz yazı biçimindeki yönetmeliklerin kurgusal yapısının tanımlanmasına dair teorik çalışmaların sonucu ortaya çıkan ve literatürde dört katmanlı modelleme paradigması olarak bilinen yaklaşıma dayanmaktadır. Bilgi modelleme yöntemi olarak ise son zamanlarda ortaya çıkan semantik modelleme yaklaşımı kullanılmaktadır. Geliştirilen model ile yönetmelikleri oluşturan terimlerin, kural cümlelerinin, kurallar arası ilişkilerin ve genel yapının ayrı katmanlarda modellenmesi sağlanarak yönetmelik temsili için sistematik bir yöntem ortaya konmaktadır. Geliştirilen modelin yapı tasarımı alanında uygulanabilirliği, İzmir Büyükşehir Belediyesi İmar Yönetmeliği örneğinde gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Sayısal yönetmelik temsili, otomatik uyumluluk denetimi

Building Code Representation: A New Model

Abstract

This paper presents a study in automated compliance checking, concentrating on building code representations. A new model for representing building codes in computer implementable form is developed for use in building automated compliance checking systems. The model adopts the four level representation paradigm as a theoretical base and uses the semantic modeling approach for developing the building code representation. The model breaks down the representation into four levels which allows separate modeling of domain concepts, individual rule statements, relationships between rules, and the organization of the building code. The applicability of the model has been evaluated through a case study. The case study successfully illustrates the modeling of building codes that constitute parts of İzmir Municipality Housing and

* Sibel MACİT, sibelmactit@gmail.com, Tel: (533) 262 33 40.

Zoning Code, as well as a prototype implementation of an automated checking system utilizing this building code representation.

Keywords: *Building code representation, automated compliance checking*

1. Giriş

Mimarlık, mühendislik ve inşaat sektöründe her yapı projesi, başta imar yönetmeliği olmak üzere, yangın yönetmeliği, sığınak yönetmeliği, otopark yönetmeliği, asansör yönetmeliği gibi yapılaşma koşullarına ilişkin çok sayıda yönetmeliğe tabidir. Yapı projelerinde inşaat izinleri, ancak ilgili yönetmeliklere göre gerekli denetimleri yapıldıktan ve bu yönetmeliklere uygunlukları onaylandıktan sonra verilmektedir. Yapı projelerinin ilgili yönetmeliklere uygunluklarının denetimi son derece karmaşık, hata yapılma olasılığı yüksek ve yoğun kaynak ihtiyacı bulunan bir süreçtir. Ayrıca, bu süreçte oluşabilecek hataların giderilmesi zordur. Maliyetin yükselmesine ve zaman kaybına sebep olabilmektedir.

Yapı projelerinin ilgili yönetmeliklere göre yetkili kurumlarca, zaman ve maliyet etkin olarak hatasız bir şekilde denetlenmesini hedefleyen araştırmalar, denetleme sürecinin modellenmesine ve otomatik sistemlerin geliştirilerek denetleme pratiğinde yer almasına yönelmişlerdir. Bu alandaki araştırmalar; yönetmeliklerin sayısal temsillerinin oluşturulması, yapıların grafik veya nesne tabanlı modellenmesi, uyumluluk denetimi algoritmalarının geliştirilmesi ve denetleme sonuçlarının raporlanması konuları üzerinde yoğunlaşmıştır.

Otomatik denetleme sistemleri, yapı projelerini yapıyı tanımlayan nesnelere, bu nesnelere özellikleri ve birbirleriyle ilişkileri üzerinden değerlendirirler. Kural tabanlı olan bu sistemler; ilgili yönetmelikte yer alan kuralları, koşulları veya şartları önerilen projeye uygulayarak “uygundur”, “uygun değildir”, “düzeltilmesi gereken noktalar vardır”, “bilinmeyen noktalar bulunmaktadır” gibi sonuç raporları üretmektedirler [1]. Otomatik denetleme sistemleri, öncelikle, hem yapı projesinin hem de ilgili yönetmeliklerin uygun sayısal temsillerini gerektirmektedir. Yapı bilgi modelleme (YBM) araçlarındaki gelişmeler ile günümüzde yapı projeleri için standart bir sayısal temsil sağlanabilmektedir. Ancak yapı yönetmeliklerinin sayısal temsili için henüz standart bir model mevcut değildir. Bu durum otomatik denetleme sistemlerinin geliştirilmesinin önünde yatan önemli engellerden biridir. Dolayısıyla yapı pratiğine yansıyan sonuç, yapı projelerinin bilgisayar ortamında üç boyutlu olarak modellenemesine rağmen bu projelerin ilgili yönetmeliklere uygunluklarının denetiminin halen geleneksel yöntem ile iki boyutlu çizimler üzerinden yapılması olarak karşımıza çıkmaktadır.

Yapı yönetmeliklerinin sayısal temsillerini oluşturmak için bir model önermek, yönetmeliklerin karmaşık kurgusu ve yoruma açık, belirsiz ve hatta çelişkili birçok kurallar içermesi nedeniyle zorlu bir araştırma konusu olarak görülmektedir. Literatürde, sayısal yönetmelik temsilleri ve bu temsiller ile çalışan otomatik denetleme sistemlerinin geliştirilmesine yönelik çeşitli araştırmalar bulunmaktadır [2-10]. Ancak bu bilimsel araştırmaların ve geliştirilen sistemlerin yapı sektörüne aktarılması ve uygulanması kısıtlı kalmıştır. Bu durumun geliştirilmeye çalışılan otomatik denetleme sistemlerinde kullanılan sayısal yönetmelik temsillerinin yetersizliğinden

kaynaklandığı söylenebilir. Yönetmeliklerin temsillerinin oluşturulmasına yönelik olarak önerilen modeller birtakım kısıtlamaları barındırmaktadır. Önerilen modeller ile yönetmeliklerin barındırdığı tüm veri türlerinin temsil edilememesi bu kısıtların ilkidir. Mevcut denetleme sistemlerinde kullanılan temsiller, yönetmeliklerin karmaşık yapısı ile karşılaştırıldığında çok basit kalmaktadır. Önerilen modellerde karşılaşılan diğer kısıt ise yönetmeliklerin otomasyon sisteminin içine sabit olarak kodlanarak temsil edilmesidir. Sistem içine kodlama yöntemi ile modelleme, geliştirilen yönetmelik temsillerinin etkin bir şekilde düzenlenebilmesini ve güncellenebilmesini engellemektedir. Sistem içine kodlanan yönetmeliğin aslında bir değişiklik yapılsa gereken düzenleme tüm sistemin değiştirilmesini gerektirmektedir. Bu yaklaşımla geliştirilen sistemlerde programlama bilgisi olmayan yetkililerin sayısal yönetmelik temsillerini güncellemeleri mümkün olamamaktadır. Oysa yönetmelikler zaman içerisinde sık değişikliğe uğrayan, düzenlenen belgelerdir. Bu doğrultuda, geliştirilen modellerin de yeni kuralların eklenmesi ve mevcut kuralların değiştirilmesi gibi güncellemelere açık olması gerekmektedir. Bir diğer kısıtlama ise yönetmelik dokümanı ile sayısal yönetmelik temsili arasında doğrudan bir eşleşmenin bulunmamasından kaynaklanmaktadır. Bu durum oluşturulan temsilin yönetmeliği ne derece doğru yansıttığının kontrolünü zorlaştırmaktadır. Önerilen temsil modelleri genellikle bireysel kural temsillerine odaklanarak yönetmeliklerin genel kurgu ve yapısal düzenini göz ardı etmektedirler. Bu nedenle yönetmelik bütünlüğünü sağlayan kurallar arası ilişkilerin taşıdığı anlamsal bilgi temsil edilememekte; dolayısıyla olası çelişkiler yakalanamamakta ve öncelikler tanımlanamamaktadır.

Bu alanda yapılan önceki çalışmaların incelenmesi ile ortaya konan kısıtlar ve önerilen modellerin eksiklikleri bu makalede sunulan araştırma için bir temel oluşturmaktadır. Bu araştırma, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı'nda ilk yazar tarafından yapılmış olan doktora çalışmasının bir parçasıdır. Çalışma kapsamında, otomatik denetleme sistemlerinin geliştirilmesinde kullanılmak üzere, yapı yönetmeliklerinin sayısal temsillerini oluşturmak için yeni bir model geliştirilmiştir. Geliştirilen modelin önceki modellerin detaylı incelenmesi sonucu ortaya konan ve yukarıda bahsedilen sınırlamalara çözüm getirmesi hedeflenmektedir. Geliştirilen model ile oluşturulacak temsilin sadık kalması gereken beş ilke belirlenmiştir: 1) *Bağımsızlık* - sayısal yönetmelik temsili, hem denetleme sistemi hem de tasarım sisteminden ayrı tutulmalıdır; 2) *Özlülük (yalınlık, duruluk)* - sayısal yönetmelik temsili yalın olmalıdır, aynı nesne birden fazla yerde temsil edilmemelidir; 3) *Tutarlılık* - sayısal yönetmelik temsili kesin olmalı, belirsizlik ve çelişkilere izin vermemelidir; 4) *Kapsamlılık* - Temsil, yönetmelikteki tüm veri türlerini (kavramlar, kurallar, hiyerarşik ilişkiler vb.) barındırabilmelidir; 5) *Güncellenebilirlik* - Temsil, yeni kuralların eklenmesine veya var olanların değiştirilmelerine imkan sağlamalı ve bu işlemlerin programcı olmayanlar tarafından yapılabilmesine izin vermelidir.

Yukarıda belirlenen hedefler çerçevesinde yürütülen çalışma kapsamında öncelikli olarak literatürde yer alan yaklaşımlar incelenmiş ve bu yaklaşımların avantajları ile dezavantajları değerlendirilmiştir.

2. Yapım sektöründe yönetmeliklerin sayısal temsili üzerine araştırmalar

Yapı projelerinin ilgili yönetmeliklere uygunluklarının denetlenmesi sürecinin otomasyonuna yönelik olarak sayısal yönetmelik temsillerinin oluşturulması ve bu

temsiller ile çalışan denetleme sistemlerinin geliştirilmesi alanında birçok teorik ve uygulamalı araştırma yürütülmüştür. Literatürde bu alandaki ilk bilimsel çalışma olarak, yönetmeliklerin karar tabloları kullanılarak temsili üzerine 1966 yılında Fenves tarafından yapılan araştırma gösterilmektedir [11]. Fenves bu araştırmasında karar tabloları ile yönetmelik kurallarının ve bu kuralların geçerli olabileceği koşulların değişik kombinasyonlarının temsil edilebileceğini ortaya koymaktadır. Ancak bu araştırma göstermektedir ki, karar tabloları yönetmeliğin genel organizasyonunun temsilinde ve hükümler arası ilişkilerin kurulmasında yetersiz kalmaktadırlar [12]. Bu araştırmayı takiben, 1973 yılında, AISC (American Institute of Steel Construction) şartnamesinin yeniden yapılandırılmasına yönelik bir proje gerçekleştirilmiştir [13]. Bu projede, yönetmelik bilgisinin dört katmanlı bir yapı ile açıklanabileceği teorik bir model ortaya konmuştur. Bu model ile kurulan genel yapıda yönetmelikte yer alan terimler, hükümler, hükümler arası ilişkiler ve genel organizasyon bilgisi hiyerarşik bir düzen içinde ayrı katmanlarda gösterilmektedir. Yönetmeliklerin mantıksal yapısını yansıtan bu dört katmanlı soyutlanmış yönetmelik modeli, 1987 yılında Fenves ve ekibi tarafından geliştirilen SASE (Standard Analysis, Synthesis and Expression) yazılımının modelleme metodolojisi olarak kullanılmıştır [2]. Bu yazılım, yönetmelik kurallarının organizasyonunun, karar tablolarının, bilgi ağlarının ve sınıflandırma sistemlerinin oluşturulmasını ve kontrolünü sağlamak amacı ile geliştirilen bir araçtır. Karar tabloları ile temsil yaklaşımına alternatif olarak birçok araştırmacı, yönetmeliklerin otomatik denetleme sistemleri tarafından kullanılacak kurallar/hükümler olarak temsillerinin oluşturulması için kural tabanlı modelleme yaklaşımını önerdiler [14-17]. Bu yaklaşımda yönetmelik hükümleri, karar tabloları yerine “IF-THEN” [koşul-eylem] yapısındaki kural kümeleri şeklinde temsil edilmektedir. Daha sonraki çalışmalar yönetmeliklerin yüklem mantığında (“predicate logic”) yapılandırılması üzerine odaklanmıştır [4, 5].

Garrett ve Hakim [6] yönetmeliklerin bilgisayar ortamında sayısal temsili için nesne tabanlı bir model geliştirmişlerdir. Geliştirilen bu model ile yönetmelikler, yapıyı oluşturan nesnelere bağlamında temsil ve organize edilmektedir. Waard [18] ise yönetmeliklerin sayısal ortamda işlenebilir olması için farklı bir nesne tabanlı model önerisi üzerine bir çalışma yapmıştır. Bu çalışmada konut yapıları için bir model ve yönetmelikler için ayrı bir model geliştirilmiştir. Geliştirilen bu iki model otomatik uyumluluk denetimi çerçevesinde birbiri ile ilişkilendirilmiştir. Yabuki ve Law [19] ise yönetmeliklerin sayısal temsili için birinci derece yüklem mantığı yaklaşımı ile nesne tabanlı modelleme yaklaşımlarını birleştiren bir model önerisinde bulunmuştur. Kiliccote ve Garrett [20] ise bağlam odaklı (context-oriented) bir model önerisinde bulunarak nesne tabanlı modelleme yaklaşımında ortaya çıkan sınıflar arası karmaşık hiyerarşi problemine çözüm getirmeyi amaçlamıştır. Bu modelde yönetmelik hükümleri, uygulanabilir oldukları koşulların tanımlaması için kullanılan alt sınıfların bir koleksiyonu olan “bağlam”lar çerçevesinde temsil edilmektedir. Özet olarak, yapı projelerinin ilgili yönetmeliklere uygunluklarının denetlenmesinin otomasyonu alanında yapılan ilk çalışmalar, yönetmeliklerin mantıksal yapısının iyileştirilmesi çerçevesinde ve yazılı biçimden, bilgisayarlar tarafından anlaşılabilir ve işlenebilir biçime dönüştürülmesi yani sayısal temsillerinin geliştirilmesine yönelik olmuştur.

Yönetmeliklerin sayısal temsillerinin oluşturulmasına yönelik yapılan ilk araştırmalarda çeşitli bilgi modelleme yaklaşımları (karar tabloları, yüklem mantığı, nesne yönelimli modelleme vb.) kullanılmıştır. Ancak bu yaklaşımlar genel olarak bilginin sistem içine kodlanması (sabit kodlama/“hard-coding”) yöntemine dayanmaktadır. Sabit kodlama

yönteminin en önemli dezavantajı yönetmeliklerin sayısal temsillerinin oluşturulması ve oluşturulan temsillerin güncellenmesi için ileri seviyede programlama bilgisini gerektirmesidir. Bu gereksinim yönetmeliklerin konunun uzmanı tarafından değil de programlama bilgisine sahip teknik elemanlar tarafından temsiline ve dolayısı ile yönetmelik temsilinin zaman içinde güncellenmesinin etkin bir şekilde yapılamamasına neden olmaktadır. Yönetmelikler zaman içerisinde yeni kuralların eklenmesi yahut mevcut kurallar üzerinde değişiklik yapılması ile sürekli düzenlenmektedir. Geliştirilen sayısal temsillerin de yeni kuralların eklenmesi ve mevcut kuralların değiştirilmesi gibi güncellemelere açık olması gerekmektedir. Sabit kodlama yönteminin bu dezavantajına çözüm arayışı ile birlikte son dönemdeki araştırmaların odağı, bilgi modelleme alanında göreceli olarak yeni bir yöntem olan semantik modelleme yaklaşımına yönelmiştir. 2006 yılında başlatılan ve bu alanda öne çıkan çalışmalardan biri olan SMARTcodes [21] projesinde yönetmeliklerin sayısal temsillerinin geliştirilmesine dair semantik bir yaklaşım önerilmektedir. Bu yaklaşım, işaretleme dili kullanılarak tanımlı bir yapıya (RASE) göre biçimlendirilmiş yönetmelik hükümlerinin, denetleme sisteminden bağımsız sayısal temsillerinin oluşturulması mantığına dayanmaktadır. SMARTcodes projesinde, yönetmeliklerin temsillerinin oluşturulmasında kullanılan biçimlendirilmiş yönetmelik metinlerini hazırlamak için bir protokol ve yazılım sağlanmaktadır [22]. Son zamanlarda, ontoloji-tabanlı uygulamalar da sayısal yönetmelik temsillerini oluşturmak için alternatif bir yaklaşım olarak araştırılmaktadır [23, 24]. Ayrıca, gerekli verinin yönetmelik metninden otomatik veya yarı-otomatik ayıklanmasını sağlayarak yönetmeliklerin sistemler tarafından otomatik algılanmasına yönelik olarak, semantik modelleme yaklaşımı ve yapım sektörüne özgü ontolojilerden faydalanan, Yapay Zeka (Artificial Intelligence – AI) ve Doğal Dil İşleme (Natural Language Processing – NLP) tekniklerini birlikte kullanan çeşitli çalışmalar da bulunmaktadır [25-27].

Yapı projelerinin sayısal temsilleri ile çalışan otomatik denetleme sistemlerinin geliştirilmesi 1980'lerin sonlarına doğru başlamıştır. 1990'lar da IFC'nin (Industry Foundation Classes) geliştirilmesi ile bu yapı modeli şemasını kullanan otomatik denetleme sistemlerine yönelik çalışmalar başlamıştır. IFC bugün birçok Yapı Bilgi Modelleme (YBM) yazılımının yararlandığı bir yapı modelleme standardı olarak öne çıkmaktadır. 1995 yılında Singapur'da başlayan CORENET projesi yapım sektöründeki ilk otomatik yönetmelik denetim sistemidir. Başlangıçta 2 boyutlu çizim dosyaları üzerinden çalışan bu sistem günümüzde YBM veri dosyaları ile çalışmaktadır [8]. Yakın bir tarihte çalışılmış bir diğer proje ise Avustralya'da 2006 yılında geliştirilmiş olan DesignCheck adlı sistemdir [28]. 2006 yılında Amerika Birleşik Devletleri'nde geliştirilmiş olan SMARTcodes [9] ile yine ABD'deki mahkeme binalarının dolaşım ve güvenlik denetimi için geliştirilen kural denetim sistemi [29] ise bu alandaki diğer projelerdir.

3. Sayısal yönetmelik temsili

Bu makalede sunulan çalışmada yapılaşmaya dair yönetmeliklerin sayısal ortamda temsil edilmesini sağlamak üzere yeni bir temsil modeli araştırılmıştır. Temsil edilecek örnek yönetmelik olarak İzmir Büyükşehir Belediyesi İmar Yönetmeliği seçilmiştir. Söz konusu yönetmelik, Türkiye genelinde kullanımda olan yönetmelikleri temsil edebilecek karmaşıklıkta ve kapsamlı bir yönetmelik olduğu için seçilmiştir. Bunun nedeni geliştirilen modelin olabildiğince geniş bir yelpazede bütün kural tiplerine uygulanabilirliğini sağlamaktır. Geliştirilen temsil modeli için, yakın zamanda

geliştirilen semantik bilgi modelleme yöntemi benimsenmiş, fakat bu yöntem literatürde dört katmanlı modelleme paradigması olarak tanımlanan teorik yaklaşıma uyarlanarak kullanılmıştır.

Aşağıdaki bölümlerde dört katmanlı modelleme paradigması ve semantik bilgi modelleme yöntemi ayrıntılı olarak tanıtılacaktır.

a. Dört katmanlı modelleme

Dört katmanlı modelleme paradigması, Nyman ve Fenves [30] tarafından yapı yönetmeliklerinin kurgusal yapısının tanımlanmasına yönelik gerçekleştirilen teorik çalışmaların sonucu olarak ortaya çıkan soyutlanmış bir modele dayanmaktadır. Bu soyut model ile tariflenen genel yapıya göre yönetmelik bilgisi dört katmanda açıklanmaktadır. Örgütsel Ağ (Organizational Network) olarak da adlandırılan en üst katman olan 4. katmanda, yönetmeliğin genel hatları ve organizasyonuna ait bilgi temsil edilmektedir. Bu katmanda, ilgili kuralların daha büyük birimler halinde gruplanması ile yönetmeliğe dair genel organizasyon kurulmaktadır. Bilgi Ağı (Information Network) olarak adlandırılan 3. katman, yönetmelik kuralları arasındaki ilişkilere ait bilginin temsilini sağlamaktadır. Bu katmanda birbiri ile yakından ilişkili kurallar arasındaki bağımlılıklar tanımlanmaktadır. Ayrıntı Katmanı (Detail Level) olarak adlandırılan 2. katman, yönetmelik hükümlerinin karar tablosu biçiminde temsilini; Alt Katman (Lowest Level) olarak adlandırılan 1. katman ise hükümlerde bahsi geçen temel veri öğelerinin (terimlerin) temsilini sağlamaktadır.

Yönetmeliklerin karmaşık yapısının çözümlenerek içerdiği bilgi tiplerinin ve hiyerarşisinin tanımlanması; kapsamlı ve gerçekçi bir şekilde sayısal yönetmelik temsillerinin geliştirilmesi için oldukça önemlidir. Bu açıdan Nyman ve Fenves tarafından 1975 yılında önerilen dört katmanlı modelleme paradigması, sayısal yönetmelik temsili alanındaki araştırmalar için sağlam bir teorik temel sağlamaktadır. Bu yaklaşım uygulamada ilk olarak Fenves ve ekibi [2] tarafından geliştirilen SASE (Standard Analysis, Synthesis and Expression) yazılımının modelleme metodolojisi olarak kullanılmıştır. Takip eden yıllarda da bu modelleme paradigmasını temel alan sayısal yönetmelik temsili üzerine çeşitli çalışmalar yapılmıştır [4, 5]. Dört katmanlı modellemenin sağlam bir teori oluşturmasına rağmen, bu teoriye dayalı geliştirilen modeller ve uygulamalar yapım sektörü pratiğine etki edememişlerdir. Literatürde, bu başarısızlığı açıklamak üzere iki neden ileri sürülmüştür. Birinci neden olarak, o yıllarda yapım alanına özgü nesnelere ve bu nesnelere özellikleri ile birbirleri arasındaki ilişkileri tanımlayan bir bilgi modelinin olmaması gösterilmektedir. Yapı bilgisi modelleme alanında bir endüstri standardının olmayışının, çok sayıda özelleştirilmiş veri ögesi tanımlarının geliştirilmesine ve dolayısıyla sayısal yönetmelik temsillerinin karmaşıklaşmasına yol açtığı gözlemlenmiştir [31]. İkinci neden olarak ise yönetmeliklerin sayısal temsillerinin oluşturulmasında kullanılan bilgi modelleme yöntemi gösterilmektedir. Yöntem olarak genellikle karar tabloları ve programlama dilleri ile modellemenin kullanılması, doğası gereği oldukça karmaşık bir yapıya sahip yönetmeliklerin hem sayısal temsillerinin oluşturulmasını hem de oluşturulan temsillerin güncellenmesini zorlaştırmıştır [32]. Özetle, dört katmanlı modelleme paradigması, ortaya konduğu dönemde modelleme alanındaki bilgi teknolojilerinin yeterince gelişmiş olmaması nedeniyle pratikte etkin olamamıştır.

b. Semantik modelleme – RASE model

Yapılaşmaya dair yönetmeliklerin sayısal ortamda temsili için, karar tabloları, sistem içine kodlanmış kurallar, mantıksal programlama gibi çeşitli bilgi modelleme yöntemleri kullanılmıştır. Yönetmeliklerin zaman içinde sürekli değişime uğraması gerçeği, ideal olarak, sayısal yönetmelik temsillerinin otomatik denetleme sistemlerinden *bağımsız* ve kolaylıkla *güncellenebilir* olmasını gerektirmektedir. Ayrıca programlama bilgisine sahip olmayan yetkililerin sayısal yönetmelik temsilleri üzerinde gerekli düzenleme ve güncellemeleri yapabilmesinin sağlanması da önemlidir. Mevcut sayısal yönetmelik temsili çalışmalarının birçoğunda kullanılan ve ileri seviye programlama bilgisi gerektiren modelleme yöntemlerinin aksine, son zamanlardaki çalışmaların odağında yer alan semantik modelleme yaklaşımı bu ihtiyacı karşılanmasına yöneliktir. SMARTcodes projesi semantik modelleme yaklaşımının kullanılmasına iyi bir örnek olarak gösterilmektedir [22]. SMARTcodes projesinde, yönetmelik metninin programlama bilgisi gerektirmeyen basit araçların yardımıyla etiketlenerek standart bir düzende yapılandırılması ve hesaplanabilir kural setleri olarak temsiline oluşturulması hedeflenmiştir. Bu projede yönetmelik metnini oluşturan kural ifadeleri “RASE modeli” olarak adlandırılan ortak bir yapıda tanımlanmaktadır. Bu tanıma göre her kural ifadesi bir dizi *Gereksinim* (Requirement), *Uygulanabilirlik* (Applicability), *Seçim* (Selection) ve *İstisna* (Exception) durumlarını açıklayan alt ifadelerden oluşmaktadır. Her kuralda en az bir *Gereksinim* ifadesi bulunur ve bu ifade bir yapı veya yapı bileşeninin sağlanması gereken koşulu belirtir. Benzer olarak her kuralda en az bir *Uygulanabilirlik* ifadesi bulunur ve bu ifade o kuraldaki gereksinimin hangi yapı bileşenine (kapı, duvar, vs.) ait olduğunu belirtir. Eğer bir kural ilgili yapı bileşeninin sadece özel bir durumu (banyo kapısı, dış duvar, vs.) için geçerli ise o kuralda *Seçim* ifadesi bulunur. Kurallar ayrıca *İstisna* ifadeleri de içerebilirler ve bu ifadeler o kuralın uygulanabilir olduğu yapı bileşeni için o kuralın geçerli olmayacağı durumları belirtirler. RASE modeli bu dört göstergeyi esas alarak kuralların ortak yapısını tanımlamaktadır [33].

RASE modeli yapılaşmaya dair yönetmeliklerin güncellenebilir sayısal temsillerini oluşturmak için iyi bir başlangıç noktasıdır. Bu model kural cümlelerinin alt ifadelere bölünerek ortak bir yapıda tanımlanmasına dair anlaşılması kolay bir yöntem sunmaktadır. Bu model ayrıca sayısal yönetmelik temsillerinin oluşturulması ve güncellenmesi için programlama bilgisi gerektirmeyen bir şema (düzen) sağlamaktadır. RASE modelinin yürürlükteki yönetmeliklerin sayısal temsillerinin oluşturulmasında uygulanabilirliğini değerlendirmek amacıyla bir pilot çalışma gerçekleştirilmiştir [34]. Bu pilot çalışma kapsamında İzmir Büyükşehir Belediyesi İmar Yönetmeliği'nin konut yapıları ile ilgili kural ifadeleri, RASE modeli esas alınarak *Gereksinim*, *Uygulanabilirlik*, *Seçim* ve *İstisna* öğelerinden oluşan kural nesneleri olarak modellenmiştir. Tablo 1'de İzmir Büyükşehir Belediyesi İmar Yönetmeliğinden alınan ve RASE modeline göre yapılandırılmış kural örnekleri görülmektedir.

Yapılan pilot çalışma göstermiştir ki; RASE modeli, ileri seviye programlama bilgisi gerektirmeyen, kullanımı kolay bir yöntem sunmakta ve bu model ile İzmir Büyükşehir Belediyesi İmar Yönetmeliğinin %80'i sayısal ortamda temsil edilebilmektedir. Ancak, sayısal yönetmelik temsillerinde sağlanması gereken ilkeler düşünüldüğünde önemli iki nedenden dolayı, RASE modelinin mevcut haliyle uygun olmadığı anlaşılmıştır.

Tablo 1. İzmir Büyükşehir Belediyesi İmar Yönetmeliği Kural Örnekleri

No	Kural ifadesi	Uygulanabilirlik (ilgili nesne)	Seçim	İstisna	Gereksinim
1	Kapı yükseklikleri kasa dahil 2.10 metreden az olamaz.	kapı	-	-	yükseklik \geq 2.10m
2	Bağımsız bölüm kapıları, kasa dahil (1.00) m.den az olamaz.	kapı	kapı.tip=giriş	-	genişlik \geq 1.00m
3	Birden fazla katı olan ev ve apartmanların ahşap olmayan en az bir ana merdiveni olacaktır.	yapı	yapı.#kat \geq 1	-	#merdiven \geq 1 & merdiven.malzeme=!ahşap
4	Merdiven kolu ve sahanlık genişliği 1.20 m.den az olamaz.	merdiven	-	-	kolGenişliği = 1.20m & sahanlıkGenişliği= 1.20m
5	Genel olarak çatıların %33 meyilli gabari dahilinde kalması şarttır. Ancak, 2 katı geçmeyen dubleks konut yapılarında çatı eğimi ve çatı biçimi serbesttir.	çatı	-	yapı.tip=dubleks	eğim \leq 33 %

İlk neden, ortaya çıkan çok sayıda tekrardan kaynaklanan kavram karmaşası ve *tutarlılık* ilkesine aykırı temsillerin oluşma riskidir. Yönetmeliklerin genelinde olduğu gibi İzmir Büyükşehir Belediyesi İmar Yönetmeliğinde de belirli bir konu (kavram/nesne) ile ilgili birden çok kural cümlesi bulunmaktadır. RASE modeli ile her kural cümlesi birbirinden bağımsız olarak modellenmekte ancak bu durum yönetmelik temsilinin bütününde çok sayıda tekrara neden olmaktadır. Farklı kural cümleleri içinde geçen aynı kavramlar, ilgili her kural nesnesinin *uygulanabilirlik* ve *seçim* öğeleri için yeniden tanımlanmaktadır. Bu durum, kavram karmaşasına ve belirsizliklerin oluşmasına, dolayısı ile temsilin *tutarlılığının* garanti edilememesine neden olmaktadır. SMARTcodes projesinde kavram karmaşasını engellemek için harici bir “sözlük” oluşturulmuştur. Sözlük yardımı ile aynı anlama gelen çeşitli kavramlara dair ortak terimlerin kullanılması sağlanmakta ancak modellemede ortaya çıkan gereksiz tekrarların önüne geçilememektedir. Geliştirilen yeni temsil modelinin ilk katmanı bu konuya çözüm sağlamak amacı ile kurgulanmıştır. Bu katman ile kavramların bir defaya mahsus modellenerek tanımlanması ve ilgili kural nesnelerinde aynı tanımın kullanılması sağlanarak kavram karmaşası ve gereksiz modelleme tekrarları engellenmektedir.

RASE modelinin yetersizliğinin ardındaki ikinci önemli neden ise kurallar arası ilişkilerin tanımlanamamasıdır. Kurallar arası ilişkilerin tanımlanması, bir konu ile ilgili birden çok kuralın olması ve belirtilen koşula göre uygulanacak kural veya kuralların değişmesi durumunda önem kazanmaktadır. Hangi kuralın hangi koşullar altında geçerli olacağı bilgisi olmazsa yönetmeliğin temsilinde birbiri ile bağdaşmayan, çelişkili kuralların bulunması olasılığı yüksek olacaktır. Sonuç olarak otomatik proje denetimleri her zaman doğruyu yansıtamayacaktır. SMARTcodes projesinde kurallar arası ilişkiler otomatik denetleme sisteminin içinde tanımlanmaktadır. Ancak bu durum sayısal yönetmelik temsilinin *tutarlılık* ve *güncellenebilirlik* gerekliliklerinin sistemden bağımsız sağlanamamasına neden olmaktadır. Bu probleme çözüm olması için, geliştirilen yeni temsil modelinin 3. katmanı kurallar arası ilişkilerin tanımlanmasını, 4. katmanı ise aynı kavrama dair ilişkilendirilmiş kuralların gruplanarak bir çatı altında toplanmasını sağlamaktadırlar.

Özet olarak, bu makalede sunulan çalışma kapsamında geliştirilen yeni temsil modelinde RASE modeli baz alınmış ancak yukarıda bahsedilen tekrar sorununa ve

mantıksal ilişkilerin eksikliğine çözüm sağlamak için dört katmanlı modelleme yaklaşımı ile yeniden düzenlenmiştir.

4. Yeni temsil modeli

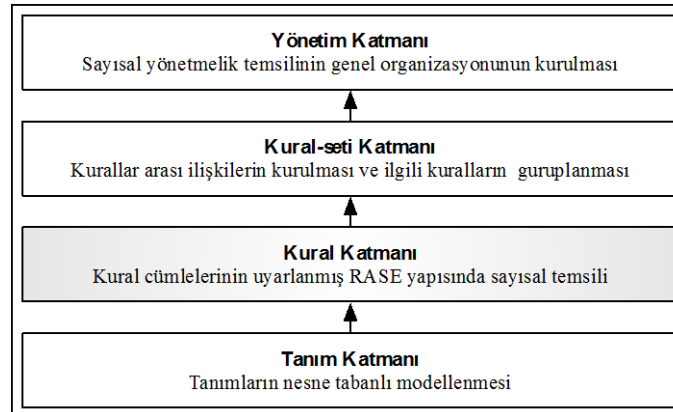
Yönetmeliklerin otomatik denetleme sistemlerine yönelik sayısal temsillerinin oluşturulması için geliştirilen yeni model; SMARTcodes projesi kapsamında semantik modelleme yöntemi ile geliştirilen RASE modelinin, kuramsal temelleri Nyman ve Fenves'in çalışmasına dayanan dört katmanlı modelleme yaklaşımına uyarlanması ile kurgulanmıştır. Bu karma yaklaşım ile aşağıdaki gereksinimlerin karşılanması hedeflenmektedir.

- Denetleme sistemlerinden *bağımsız* bir sayısal yönetmelik temsili geliştirmek.
- RASE modelinde vurgulanan kullanım kolaylığı ilkesini koruyarak sayısal yönetmelik temsili *güncellenebilir* tutmak.
- Dört katmanlı modelleme yaklaşımının ortaya koyduğu hiyerarşik yapı ile modellemede ortaya çıkan tekrarları engelleyerek sayısal yönetmelik temsili *yalın* olmasını sağlamak.
- Kurallar arası ilişkilerin ayrı bir katmanda modellenmesini sağlayarak sayısal yönetmelik temsili *tutarlılığından* emin olmak.

Geliştirilen yeni temsil modeli, yukarıda belirtilen gereksinimleri karşılayacak sayısal yönetmelik temsillerinin oluşturulması için dört katmandan oluşan sistematik bir yapı sağlamaktadır (Şekil 1).

1. Tanım katmanı (Domain layer): Yönetmelik metninde geçen terimler (kavramlar, nesnelere vb.), özellikleri ve ilişkileri ile beraber tanımlanarak nesne tabanlı temsil edilmektedir.
2. Kural katmanı (Rule layer): Yönetmelik metninde yer alan kural cümleleri, tanım katmanında modellenen sınıflar kullanılarak, uyarlanmış RASE yapısında kural nesnelere şeklinde temsil edilmektedir.
3. Kural-seti katmanı (Rule-set layer): Kural katmanında modellenen kural nesnelere arasındaki ilişkiler tanımlanarak kural setleri oluşturulmaktadır.
4. Yönetim katmanı (Management layer): Kural setlerinin sınıflandırılmasıyla yönetmeliğin genel organizasyonunun temsili yapılmaktadır.

Aşağıdaki bölümlerde bu katmanlar detaylı olarak açıklanacaktır.



Şekil 1. Yeni temsil modelinin dört katmanlı yapısı

a. Tanım katmanı

Yönetmelikler, yetkili resmi kurum ve kuruluşlar tarafından düzenlenen plan, fen, sağlık ve çevre şartlarına uygun yapıların oluşturulmasında gerekli asgari koşulları belirleyen yasal belgelerdir. Yönetmelikler asgari koşulları sağlamaya yönelik bir dizi kurallar ve bu kuralları açıklayan ve destekleyen tanımlardan oluşmaktadır. Bu bağlamda, yönetmeliklerin sayısal temsillerinin de hem kuralları hem de tanımları yansıtması gerekmektedir. Kurallar ve şartların modellenmesi bir şeyin nasıl olması gerektiği ile ilgiliyken, tanımların modellenmesi bir şeyin ne olduğu ile ilgilidir. Dolayısıyla bu iki olgunun sayısal temsillerine yönelik modelleme yöntemlerinde farklılıklar vardır.

Yönetmelikler, ilgili olduğu alana dair belirli kavramlara yönelik tanımları ve fiziksel yapı elemanları, hacimler ve bunların arasındaki ilişkiler gibi yapıya ilişkin nesnelere ait tanımları içermektedir. Otomatik denetleme sistemleri, yönetmelikte bahsi geçen kavram ve nesnelere yapı projesindeki karşılıkları (nesnelere) ile eşleştirdikten sonra ilgili kuralları bu nesnelere uygulayarak önerilen projenin değerlendirmesini yapmaktadır. Eşleştirme işleminin etkin (hızlı ve hatasız) bir şekilde yapılması, yönetmeliğe dair kavram ve nesne tanımlarının kurallardan bağımsız olarak yapı bilgi modeli standardına (ör. IFC) benzer bir hiyerarşide modellenmesini gerektirmektedir.

RASE modeli, koşulların ve ilgili tanımların modellenmesini tek bir kural temsilinde bütünleştirmektedir. Basılı yönetmelik metnini sayısal yönetmelik temsiline dönüştürmeyi kolaylaştıran bu yaklaşım aynı zamanda her bir kavram ve nesne tanımının ilgili her kural nesnesi için tekrar tekrar modellenmesine neden olmaktadır. Bu durum, özellikle kavram veya nesne tanımlarının güncellenmesini gerektiren durumlarda tanım karmaşasının oluşmasına ve tutarsızlıklara yol açabilir. SMARTcodes projesinde tanım karmaşasını engellemek için harici bir “sözlük” oluşturulmuştur. Bu sözlükte kavramlar ve eşanlamlı karşılıkları tanımlanmıştır.

Yeni temsil modelinin birinci katmanı olan Tanım Katmanı, yönetmelik metninde geçen tanımların nesne tabanlı temsil edilmesine yöneliktir. Bu katmanda, yönetmeliğe özgü kavram ve nesne tanımları kurallardan bağımsız olarak modellenerek bir *uzmanlık alanı modeli* oluşturulmaktadır. Oluşturulan bu uzmanlık alanı modeli, bireysel kural cümlelerinin yapılandırılmış kural nesnelere olarak modellenmesi sırasında bir üst katman tarafından kullanılacak bir nesne kütüphanesi olarak görev yapmaktadır. Kütüphane nesnelere, kuralların modellenmesi ve güncellenmesi süresince yetkili kişiler tarafından -programlama bilgisi gerektirmeden- yapı blokları olarak kullanılabilir.

Yönetmelikte yer alan kavram ve nesnelere “tanım nesnelere” olarak modellenmesi ile oluşturulan *uzmanlık alanı modeli*, harici sistemlerde, yönetmelik bilgisi ile yapı projesi bilgisi arasında bir eşleştirme köprüsü kurulmasına yardımcı olacaktır. Bu uzmanlık alanı modelinin ayrı bir katmanda ele alınmasındaki temel amaç, yapı bilgi modelleri, sayısal yönetmelik temsilleri (yönetmelik bilgi modeli) ve otomatik denetleme sistemleri arasındaki iletişimi ve birlikte işlerliği sağlamaktır.

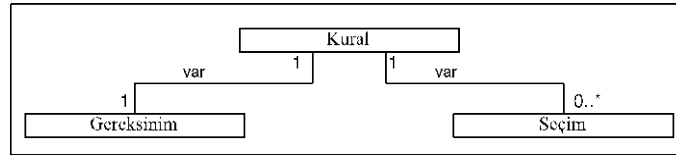
b. Kural katmanı

Yapı projeleri, ilgili yönetmelikleri oluşturan kurallara göre yetkili kurumlarca denetlenmektedir ve ancak bu kurallara uygunlukları onaylandıktan sonra uygulama sürecinin başlanmasına izin verilmektedir. Yapı projelerinin yönetmeliklere

uygunluklarının denetlenmesi sürecinin otomasyonuna yönelik geliştirilen sistemler de kural tabanlıdır ve yönetmelik kurallarının sayısal temsillerini gerektirirler.

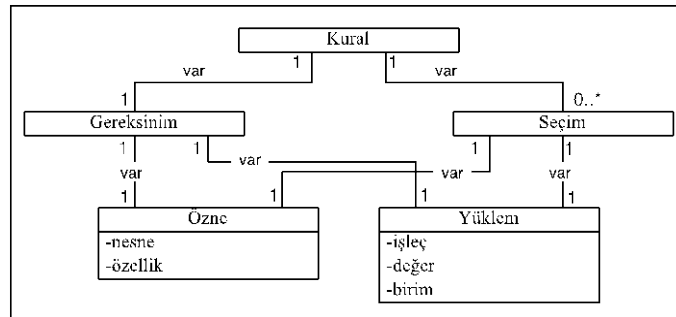
Düzyazı şeklindeki yönetmelik kural ifadelerinin sayısal temsillerinin (kural nesneleri) oluşturulması yeni temsil modelinin ikinci katmanı olan kural katmanında gerçekleşir. Bu katmanda kural ifadeleri, uyarlanmış RASE yapısına göre modellenen kural nesneleri şeklinde temsil edilirler. Her bir kural nesnesi, ilgili ölçütleri sağlayan nesnelerin belirli bir özelliğine ilişkin sağlanması gereken tek bir şartı belirtecek şekilde modellenir. Her bir şart, karşılanması gereken bir değeri ve karşılaştırma yöntemini belirtir. Belirtilen şartlar ile ilgili nesnelerin her biri, *tanım* katmanındaki uzmanlık alanı modelinde yer alır.

Genel olarak, her kural ifadesinde yalnızca *gereksinim* bilgisi bulunur. *Gereksinim* bilgisi, belirli bir nesnenin yerine getirmesi gereken şartı belirtir. Yerine getirilmesi gereken şartın yalnızca belirtilen durumlar altında geçerli olması halinde ise kural ifadesinde *seçim* bilgisi de bulunur. Yönetmelik metnini oluşturan kural ifadelerinin barındırdığı bu bilgiler, RASE modelinin *Gereksinim* (Requirement) ve *Seçim* (Selection) öğeleri ile temsil edilebilmektedir. Bu doğrultuda, yeni temsil modelinde her bir kural nesnesi; mutlaka tek bir *gereksinim* ögesine, gereken durumlarda ise *seçim* ögesine sahip olacak şekilde modellenmiştir. Şekil 2 bir kural nesnesinin temel yapısını göstermektedir.



Şekil 2. Kural nesnesinin temel yapısı

Gereksinim ve *Seçim* öğelerinin her ikisi de “özne” ve “yüklem” bileşenleri olan ortak bir alt yapıda tanımlanmaktadır. “Özne” bileşeni, bir *nesne* (ör. kapı) ve bir *özellik* (ör. yükseklik) elemanlarından oluşan basit bir yapıya sahiptir. Nesne; kapı, duvar, döşeme gibi fiziksel bir yapı elemanı ya da yaşam alanı, bağımsız bölüm gibi soyut bir kavram olabilir. İlgili her bir öznenin karşılığı tanım katmanındaki uzmanlık alanı modelinde bulunmaktadır. “Yüklem” bileşeni ise *işleç*, *değer* ve *birim* elemanlarından oluşmaktadır. *İşleç*, karşılaştırmada kullanılacak matematiksel eşitliklerden birini (eşittir, küçüktür, büyüktür vb.); *değer*, karşılaştırmada ölçülecek sayısal bir değeri veya var olup olmadığına dair özel bir değeri; *birim* ise değere ait ölçü birimini temsil etmektedir. Bir kural nesnesinin detaylı yapısı Şekil 3’de gösterilmektedir.



Şekil 3. Yapılandırılmış kural nesnesi

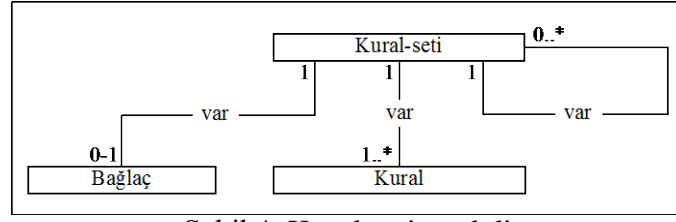
Yeni temsil modelinde, uyarlanmış RASE yapısına göre modellenen kural nesnelere yalnızca *Gereksinim* (Requirement) ve *Seçim* (Selection) öğelerinden oluşmaktadır. Sadece bu iki temel öğeye göre modellenmelerine rağmen kural nesnelere, RASE modelinde *Uygulanabilirlik* (Applicability) ve *İstisna* (Exception) öğeleri ile gösterilen bilgileri de temsil edilebilmektedir. Kuralın ortaya koyduğu şartı/gereksinimi karşılaması gereken nesne (özne) ile ilgili olan *uygulanabilirlik* bilgisi RASE modelinde her bir kural için ayrı bir öğe olarak temsil edilirken gereksiz tekrarların oluşmasına neden olmaktadır. Yeni temsil modelinde ise her bir kural nesnesinin *gereksinim* öğesinin özne bileşeni ile belirtilen bu uygulanabilirlik bilgisi, tanım katmanında bir defaya mahsus olarak modellenmekte ve ilgili her bir kural nesnesi tarafından kullanılabilir. RASE modelinde yine ayrı bir öğe ile temsil edilen *istisna* bilgisi ise yeni modelde *Seçim* yapısı ile temsil edilebilmektedir.

Yönetmeliği oluşturan tüm kural cümlelerinin, yapılandırılmış kural nesnelere olarak modellenmesi ile yeni temsil modelinin ikinci katmanı olan kural katmanı oluşmuş olur. Bu katmandaki kural nesnelere bir üst katmanda ilişkilendirilerek, kural setleri oluşturulacaktır.

c. *Kural-seti katmanı*

İkinci katmanda modellenen kural nesnelere arasındaki ilişkilerin tanımlanması, yeni temsil modelinin üçüncü katmanının oluşturur. Kural katmanında, her bir kural cümlesi, bir kavram veya nesnenin, yalnızca bir özelliği ile ilgili tek bir şartı belirten *gereksinim* ve eğer varsa, belirtilen şartın geçerli olduğu koşulların açıklandığı *seçim* bilgisini de barındıran kural nesnelere olarak modellenmiştir. Ancak genel olarak, bir kavram veya varlık ve onun ilgili özelliği, çeşitli koşullara göre değişen birden çok gereksinimin öznesi olabilmektedir. Aynı özne ile ilgili olarak, çeşitli koşullar altında değişen gereksinimleri belirtmek için birden fazla kural ifadesi kullanılmakta ve genel olarak bu kural ifadeleri yönetmelik maddelerinin altında gruplanmaktadır. Aynı özneye dair çeşitli gereksinimleri belirten kural nesnelere, yönetmelik maddelerinin anlamsal bütünlüğü içinde yer alan (örtülü ya da açık bir şekilde) mantıksal ilişkilerinin modellenerek bir çatı altında toplanması gerekmektedir. Kurallar diğer kurallardan bağımsız olarak tek başına bir gereksinimi tanımlayabilirler. Ancak, genel olarak kurallar birbirleri ile bağlıdır. Bağlı kurallar, belirtilen koşullara göre diğer kuralda belirtilen gereksinimi değiştirebilir veya ek gereksinim tanımlayabilirler. Bir kural bir başka kuralda belirtilen bir gereksinimi değiştiriyorsa, bu iki kural arasında “veya”; bir kural başka bir kuralda belirtilen gereksinime ek bir gereksinim tanımlıyorsa bu iki kural arasında “ve” ilişkisi bulunur.

Bağlı kurallar arasındaki ilişkinin nasıl tanımlanacağı ve temsil edileceği önemli bir konudur. Kural nesnelere, ele aldıkları özne üzerinden birbiri ile ilişkilidir. Genellikle kurallar kümülatiftir. Aynı özne tarafından karşılanması gereken çeşitli gereksinimleri belirten birden fazla kural nesnesinin olması durumunda bu kuralların hepsinin denetlenmesi gerekmektedir. Eğer bir kural nesnesi, bir başka kural nesnesinde belirtilen gereksinimi değiştiriyor veya bir istisnayı açıklıyorsa bu kurallar birbirlerinin alternatifidir ve sadece biri geçerli olacaktır.



Şekil 4. Kural-seti modeli

Yeni temsil modelinde ilişkili kural nesneleri mantıksal bağlaçların kullanımı ile hesaplanabilir kural-seti olarak bir araya getirilmektedir. Her bir kural-seti, birbiri ile ilişkili kuralları ve “VE/VEYA” bağlaçlarından birini barındırmaktadır (Şekil 4). VE bağlacı bir özne tarafından aynı anda karşılanması gereken farklı değerleri belirten kural nesneleri arasındaki ilişkinin temsili için; VEYA bağlacı ise belirtilen koşullara bağlı olarak bir özne tarafından karşılanması gereken alternatif değerleri belirten kural nesneleri arasındaki ilişkinin temsili için kullanılmaktadır. VE bağlacı ile aynı kural-seti altında birleşen kural nesnelerinin her birinin; VEYA bağlacı ile aynı kural-seti altında toplanan kural nesnelerinin ise sadece geçerli olanının denetlenmesi gerekmektedir. Şekil 4 kural-seti nesnesinin yapısını göstermektedir.

d. Yönetim katmanı

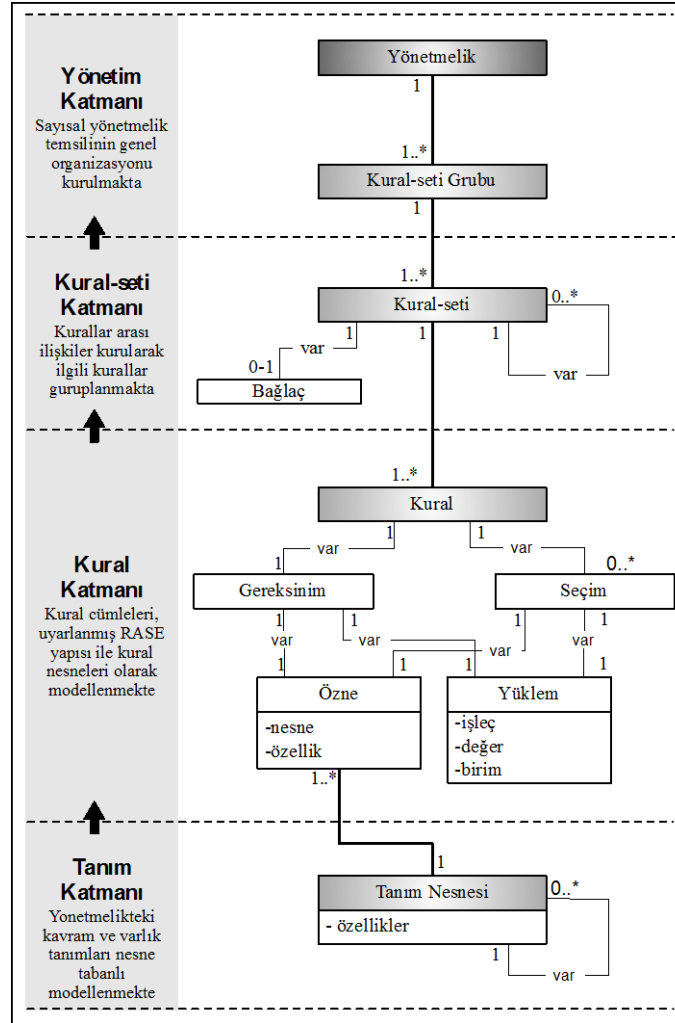
Yönetmelikler, ait olduğu alana dair pek çok konu ile ilgili çeşitli kuralları barındıran ve yasal kaynak olarak kullanılan belgelerdir. Genellikle kalın ciltlerden oluşan bu yasal kaynaklar, kullanıcıların (mimarlar, mühendisler, idari yetkililer vb.) ilgili içeriğe erişilebildiği ölçüde fayda sağlar. Kullanıcının aradığı içerik ile yönetmeliğin hangi bölüm veya bölümlerinin ilgili olduğunu belirleyebilmesi önemlidir. Kullanıcıların, ayrıca, belirli bir tasarım durumu için hangi kuralların geçerli olduğunu belirleyebilmesi de gerekmektedir. Erişilebilirliğin sağlanması açısından yönetmelikler, kısımlar, bölümler, maddeler, fıkralar ve bentler şeklinde düzenlenmektedirler. Sayısal yönetmelik temsillerinin de, ilgili kurallara kolayca erişilebilecek şekilde organize edilmesi önemlidir. Sistematik bir yapı ile yönetmelik kapsamını tanımlayan ve kuralları düzenleyen bir ana hat (içerik) şeması geliştirilebilir. Yeni temsil modelinin son katmanı olan yönetim katmanı, bir alt katmanda modellenen kural-setlerinin bir şema çerçevesinde gruplandırılması ile genel organizasyonun tanımlanmasına yönelik kurgulanmıştır.

Sayısal yönetmelik temsillerinin organizasyonu için mevcut yönetmelik yapısından faydalanılabilir. Kural-setleri, yayınlanmış yönetmelik dokümanındaki maddeleri yansıtabilecek şekilde gruplanabilir ve bu gruplar yönetmelik bölümlerini oluşturacak şekilde düzenlenebilir. Ancak sayısal yönetmelik temsilleri, mevcut yönetmelik yapısına uygun düzenlenebildiği gibi alternatif organizasyon şemalarına uygun da düzenlenebilmelidir.

Yeni temsil modelinde, alternatif bir organizasyon şeması olarak, kural-setlerini ilgili oldukları kavram veya nesneye göre gruplamak önerilmektedir. Yönetmelik dokümanlarının mevcut düzeninde, bir kavram veya nesne ile ilgili kurallar yönetmeliğin çeşitli bölümlerine dağılmış olabilmekte ve bu durum hem tutarlılığın hem de erişilebilirliğin sağlanmasını güçleştirmektedir. Tutarlılığın ve erişilebilirliğin sağlanması için yönetmelik kurallarının ilgili nesne bağlamında gruplanarak bölümlerin organize edilmesi tercih edilmektedir. İlgili nesne bağlamında yönetmeliklerin organizasyonu, aynı zamanda otomatik denetleme sistemlerinin belirli bir tasarım

durumu için işleme konulması gereken tüm kuralları belirlemesine yardımcı olacaktır. Yönetim katmanı, kural-setlerinin mevcut yönetmelik düzenine ek bir düzende gruplanmasını sağlayarak yönetmelik içi tutarlılığın sağlanmasına katkıda bulunmaktadır. Bu katman ayrıca, bir nesneye ait çeşitli yönetmeliklerdeki (imar yönetmeliği, yangın yönetmeliği, otopark yönetmeliği vb.) ilgili kuralların da gruplanmasına izin vererek yönetmelikler arası oluşabilecek çelişkilerin ve tutarsızlıkların önüne geçilmesine yardımcı olacaktır.

Yeni temsil modelinin yönetim katmanında, kural-setleri gruplanarak modellenmişlerdir. Bir ağaç yapısı ortaya çıkmıştır. Bu ağacın kökü yönetmeliğin tümünü ve her bir yaprağı üçüncü katmanda modellenen bir kural-setini temsil etmektedir. Bu ağaç yapısındaki organizasyon şemasında başlık ve alt başlıkları temsil etmek için gereken sayıda ara düğüm noktası tanımlanabilmektedir. Şekil 5 yeni temsil modelinin genel yapısını göstermektedir.



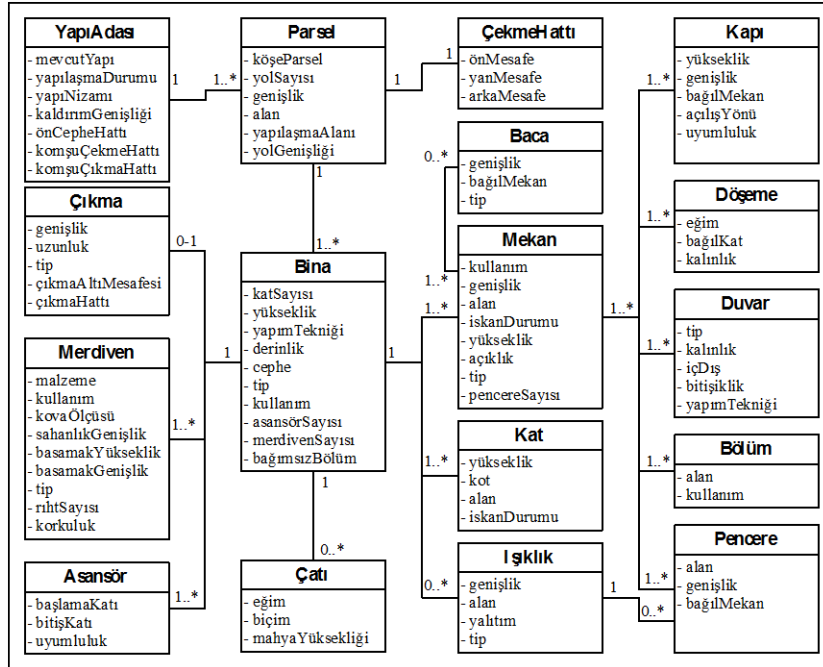
Şekil 5. Yeni temsil modeli genel yapısı

5. Örnek uygulama

Yeni temsil modelinin yapı tasarımı alanında uygulanabilirliği, İzmir Büyükşehir Belediyesi İmar Yönetmeliği örneğinde değerlendirilmiştir. Yönetmeliğin yapı tasarımı ile ilgili bölümlerinin geliştirilen model çerçevesinde sayısal temsili

oluşturulmuştur. Çalışmanın ilk aşamasında yönetmelik analiz edilerek yapı tasarımı ile ilgili 258 adet kural cümlesi tespit edilmiş ve bunlar bilgisayar ortamında modellenebilirlikleri açısından incelenerek sınıflandırılmıştır [35]. Yapılan analiz ve sınıflandırma sonucunda ortaya üç tip kural ifadesi çıkmıştır: somut kurallar (%79), bulanık kurallar (%13), ve soyut kurallar (%8). *Somut Kural* sınıfında yer alanlar modellenabilir ve ölçülebilir ifadeler içeren kurallardır. Bu grupta yer alan kural ifadelerinin sayısal temsili ve otomatik olarak denetlenmesi mümkündür. *Bulanık Kural* sınıfında yer alanlar kurallar belirsizliklere sahip ifadeler içeren kurallardır. Bu tip kuralların modellenebilmesi için öncelikle bulanık terimlere uzman kişiler tarafından açıklık getirilmesi gerekmektedir. Bu kurallar ya yönetmeliğin hazırlık aşamasında ölçülebilir ifadeler ile yeniden düzenlenmeli, ya da denetimleri sistem tarafından otomatik olarak değil, uzmanlar tarafından sistem desteği ile yapılmalıdır. *Soyut Kural* kategorisine giren kuralların ise estetik gibi henüz ölçemediğimiz değerlere dair ifadeler içermeleri sebebi ile modellenebilmeleri mümkün olamamaktadır. Bu tip kuralların denetleme sürecinde uzmanların inisiyatifine bırakılması gerekecektir. Bu çalışma kapsamında sadece somut kural sınıfında yer alan 204 adet kural cümlesinin geliştirilen model ile sayısal temsili oluşturulmuştur. Modelleme dört aşamada gerçekleştirilmiştir.

Birinci aşama: İlk olarak yönetmeliğin *uzmanlık alanı modeli* oluşturulmuştur. Kurallar tek tek taranarak, yönetmelikte yer alan kavram ve nesnelere tespit edilmiş (örn. Bina, kat, merdiven, kapı) ve gereken tüm terimler belirlenmiştir. Tespit edilen kavram ve nesnelere, ilgili özelliklerinin tanımlanması ve aralarındaki ilişkilerin kurulması ile “uzmanlık alanı nesnelere” olarak modellenmiştir. İzmir Büyükşehir Belediyesi İmar Yönetmeliğinin yapı tasarımına ilişkin kuralları kapsamında oluşturulan uzmanlık alanı modeli, kısmi olarak Şekil 6’da örnek olarak verilmiştir.



Şekil 6. İzmir Büyükşehir Belediyesi İmar Yönetmeliği örneğinde oluşturulan kısmi uzmanlık alanı modeli

İkinci aşama: 26 ana madde altında toparlanmış olan yapı tasarımı ile ilgili kural cümleleri, birinci aşamada hazırlanmış olan uzmanlık alanı nesnelere kullanılarak, ikinci katmanın kural nesnelere şemasında modellenmişlerdir. Her bir kural nesnesi,

karşılanması gereken tek bir şartı belirtecek şekilde modellenmiş ve uzmanlık alan modelindeki ilgili tanım nesnesi ve özelliği ile ilişkilendirilmiştir. Örnek olarak, İzmir Büyükşehir Belediyesi İmar Yönetmeliğinin 27. Maddesini oluşturan kural ifadelerinin temsili Tablo 2’de gösterilmiştir. Yönetmelik metninde yer alan bireysel kural cümleleri, kimi durumlarda ilgili öznenin sağlanması gereken tek bir şartı belirtirken, kimi cümleler aynı özne ile ilgili birden fazla şartı veya birden fazla özne ile ilgili çeşitli şartları tanımlamaktadır. Bu tür kural cümleleri her biri tek bir özne ile ilgili tek bir şartın tanımlandığı birbirleriyle ilişkili birden fazla kural nesnelere ayrıştırılmış olarak temsil edilmiştir. Kural nesnelere arasındaki mantıksal ilişkiler bir sonraki aşamada modellenmiştir.

Tablo 2. İzmir Büyükşehir Belediyesi İmar Yönetmeliği 27. Maddesinin kural nesnelere

Kural No	GEREKİNİM				SEÇİM			
	Nesne	Özellik	İ. Değer	B.	Nesne	Özellik	İşlec	Değer
K27.1	ÇekmeHattı	önMesafe	≥ 5	m				
K27.2	ÇekmeHattı	önMesafe	$= \{YapıAdası_komşuÇekmeHattı_önMesafe\}$	m	YapıAdası	yapıNizamı	eşit	ikiz
K27.3	ÇekmeHattı	önMesafe	$= \{YapıAdası_komşuÇekmeHattı_önMesafe\}$	m	YapıAdası	mevcutYapı	varM ₁	evet
K27.4	ÇekmeHattı	önMesafe	$= \{YapıAdası_komşuÇekmeHattı_önMesafe\}$	m	YapıAdası	yapıNizamı	eşit	blok
K27.5	ÇekmeHattı	yanMesafe	$= 3$	m	YapıAdası	mevcutYapı	eşit	evet
K27.6	ÇekmeHattı	yanMesafe	$= (3 + ((\{Bina_katSayısı\} - 4) / 2))$	m	Bina	katSayısı	\geq	4
K27.7	ÇekmeHattı	yanMesafe	≥ 5	m	Bina	yapımTekniği	eşit	aşşapKarkas
K27.8	ÇekmeHattı	arkaMesafe	$= (\{Bina_yükseklik\} / 2)$	m				
K27.9	ÇekmeHattı	arkaMesafe	≥ 3	m	YapıAdası	mevcutYapı	varM ₁	evet
K27.10	ÇekmeHattı	arkaMesafe	$= \{YapıAdası_komşuÇekmeHattı_arkaMesafe\}$	m	YapıAdası	yapımTekniği	eşit	ikiz
K27.11	ÇekmeHattı	arkaMesafe	$= \{YapıAdası_komşuÇekmeHattı_arkaMesafe\}$	m	YapıAdası	mevcutYapı	varM ₁	evet
K27.12	ÇekmeHattı	arkaMesafe	$= \{YapıAdası_komşuÇekmeHattı_arkaMesafe\}$	m	YapıAdası	yapımTekniği	eşit	bitişik
					YapıAdası	yapılaşmaDurumu	eşit	%50

Üçüncü aşama: Aynı nesnenin aynı özelliği ile ilgili kural nesnelere, mantıksal bağlaçların kullanımı ile ilişkilendirilerek kural-seti nesnelere oluşturulmuştur. Her bir kural seti tek bir özneyi ilgilendiren bütün kural nesnelere barındırır. Kurallar arası ilişkiler “VE/VEYA” bağlaçlarından biri kullanılarak modellenmiştir. Tablo 2’de yer alan kural nesnelere ilişkiler ile oluşan kural-seti nesnelere Tablo 3’de gösterilmiştir.

Tablo 3. İzmir Büyükşehir Belediyesi İmar Yönetmeliği 27. Maddesinin kural-seti nesnelere

No	Özne		Set
	Nesne	Özellik	
KS27.A	ÇekmeHattı	önMesafe	(:K27.1, K27.2, K27.3, K27.4)
KS27.B	ÇekmeHattı	yanMesafe	(&: (: K27.5, K27.6), K27.7)
KS27.C	ÇekmeHattı	arkaMesafe	(: K27.8, (&: K27.9, (: K27.10, K27.11, K27.12)))

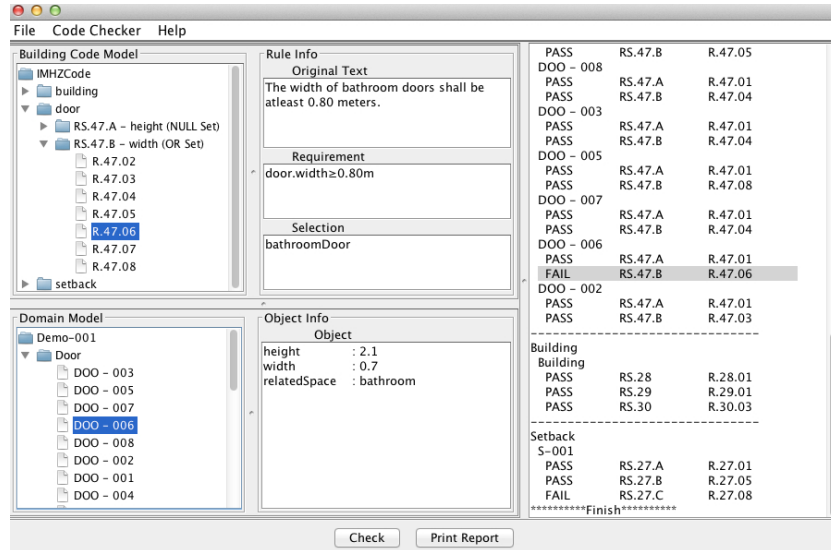
Dördüncü aşama: Üçüncü katmandaki kural setleri, ilgili oldukları ve uzmanlık alanı modelinde yer alan tanım nesnelere göre gruplandırılarak yönetmeliğinin genel çerçevesi oluşturulmuştur. Tablo 4’de İzmir Büyükşehir Belediyesi İmar

yönetmeliğinin ÇekmeHattı, Bina, ve Kapı nesnelere ile ilgili kurallarını içeren kural-seti nesnelere gruplandırılması gösterilmiştir.

Tablo 4. ÇekmeHattı, Bina, ve Kapı nesnelere ilişkin kural-seti grupları

Bölüm	Nesne	Özellik –	Kural-seti	Kural
III - Arazi ve Arsa Düzenleme İşleri ve Yapılarla İlgili Hükümler				
ÇekmeHattı				
	önMesafe –		[KS27.A = (: K27.1, K27.2, K27.3, K27.4)]	
	yanMesafe –		[KS27.B = (&: (: K27.5, K27.6, K27.7)]	
	arkaMesafe –		[KS27.C = (: K27.8, (&: K27.9, (: K27.10, K27.11, K27.12)))]	
Bina				
	derinlik –		[KS28=(:K28.1,(&:K28.2,(:K28.3,K28.4,K28.5)),K28.6)]	
	cephes –		[KS29 = (K29.1)]	
	yükseklik –		[KS30=(:K30.1,K30.2,K30.3,K30.4,K30.5,K30.6,K30.7,K30.8,K30.9)]	
			K30.1	
Kapı				
	yükseklik –		[RS47.A=(R47.1)]	
	genişlik –		[RS47.B = (:R47.2,R47.3,R47.4.1,R47.4.2,R47.5.1,R47.5.2,R47.5.3, R47.6)]	

Son olarak yeni temsil modelinin otomatik denetleme sistemlerinde kullanılabilirliğinin değerlendirilebilmesi için bu model ile çalışan prototip bir otomatik denetleme sistem uygulaması geliştirilmiştir. Geliştirilen prototip, günümüz YBM (BIM) sistemleri tarafından tanınan IFC 2x3 formatında bir yapı projesini inceleyip, İzmir Büyükşehir Belediyesi İmar Yönetmeliğinin modellenmiş olan kurallarına uygunluğunu denetleyebilmektedir. Örnek olarak basit bir yapı modelinin, geliştirilen yönetmelik temsilinin kapı, çekme mesafesi ve bina nesnelere ilişkin kurallara göre denetimini gösteren prototip uygulamanın ekran görüntüsü Şekil 7’de gösterilmektedir. Görünen ekranda, DOO-006 kodlu banyo kapısının genişliğinin 47. maddenin 6. bendine göre yeterli olmadığı tespit edilmiştir.



Şekil 7. Otomatik denetleme sistem prototipi ekran görüntüsü

6. Değerlendirme ve sonuç

Yapı projelerinin ilgili yönetmeliklere göre yetkili kurumlarca, zaman ve maliyet etkin olarak hatasız bir şekilde denetlenmesini hedefleyen araştırmalar otuz yılı aşkın süredir

otomatik denetleme sistemlerinin geliştirilmesine yönelmişler ve bu tür sistemlere yönelik olarak sayısal yönetmelik temsillerinin oluşturulması için çeşitli modeller önerilmiştir. Ancak önerilen modellerin sınırlı sayıda yönetmelik özelinde kalması ve bu yönetmeliklerin doğrudan sistem içine kodlanarak temsil edilmesi sebebiyle yaygın olarak kabul gören bir yöntem ortaya çıkmamıştır. Yönetmeliklerin zaman içinde sürekli değişime uğraması gerçeği, geliştirilen sayısal temsillerin de sistemden bağımsız ve kolaylıkla güncellenebilir olmasını gerektirmektedir. Ayrıca, ideal olarak, sayısal yönetmelik temsillerinin çeşitli bilgi türlerini kapsamaması, belirsizlik ve çelişkileri barındırmayan, tutarlı bir yapıya sahip olması gerekmektedir. Bu gereklilikler doğrultusunda, sunulan çalışmada, otomatik denetleme sistemlerinin geliştirilmesine gerekli temeli sağlamaya yönelik olarak, yapı yönetmeliklerinin sayısal temsillerini oluşturmak için yeni bir temsil modeli önerilmiştir.

Önerilen model, Fenves ve Nyman'ın (1975) çalışmalarının sonucunda ortaya çıkan ve yapı yönetmeliklerinin kurgusal yapısının tanımlandığı dört katmanlı modelleme paradigmasını teorik bir çerçeve olarak kullanmaktadır. Literatürde bu paradigmaya dayalı geliştirilen çeşitli modeller ve uygulamalar bulunmakla birlikte, bu girişimler zamanın kullanılan bilgi modelleme yöntemlerinin yetersizliklerinden dolayı yapı sektörü pratiğine etki edememişlerdir. Son dönemlerde bilgi teknolojileri alanındaki hızlı gelişmenin sonucu olarak ortaya çıkan semantik modelleme yaklaşımı ise otomatik yönetmelik denetlemesi alanı için önemli bir kilometre taşı olmuştur. Yakın dönem çalışmalarından biri olan SMARTcodes projesinde, yönetmeliklerin sistemden bağımsız ve programlama bilgisi gerektirmeksizin temsil edilebilmesi için semantik modelleme yöntemine dayanan RASE modelinden faydalanılmıştır. RASE modeli kullanılarak İzmir Büyükşehir Belediyesi İmar Yönetmeliğinin bir temsili oluşturulduğunda gereksiz tekrarlar ve kurallar arasındaki mantıksal ilişkilerin eksikliği belirlenmiştir. Modeldeki bu uyumsuzlukların giderilmesi için RASE modeli dört katmanlı paradigma çerçevesinde yeniden ele alınmış ve uyarlanmıştır.

Sonuç olarak, bu çalışmada, yapılaşmaya dair yönetmeliklerin otomatik denetleme sistemlerine yönelik sayısal temsillerinin oluşturulması için; semantik modelleme yöntemine dayanan RASE modelin, kuramsal temelleri Nyman ve Fenves'in çalışmasına dayanan dört katmanlı modelleme paradigmasına uyarlanması ile yeni bir hibrid temsil modeli geliştirilmiştir. Bu karma yaklaşım modellemeyi dört katmanda ele alarak sayısal yönetmelik temsillerinin geliştirilmesi için sistematik bir yapı sağlamaktadır. Bu yapıya göre yönetmeliği oluşturan terimler, kural cümleleri, kurallar arası ilişkiler ve organizasyon yapısı ayrı katmanlarda modellenerek sayısal yönetmelik temsili oluşturulmaktadır. Yönetmeliklerin hiyerarşik, katmanlı bir yapıda çözümlenerek semantik modelleme yöntemi ile temsillerinin oluşturulması oldukça etkili bir modelleme stratejisi ortaya çıkarmıştır.

Kaynaklar

- [1] Eastman, C.M., J.-m. Lee, Y.-s. Jeong, ve J.-k. Lee, *Automatic Rule-Based Checking of Building Designs*. **Automation in Construction**, 2009. 18(8), 1011-1033.
- [2] Fenves, S.J., R.N. Wright, F.I. Stahl, ve K.A. Reed, *Introduction to Sase: Standards Analysis, Synthesis and Expression*, NBSIR, Editor. 1987, National Bureau of Standards: Washington, D.C.

- [3] Eastman, C., *Automated Assessment of Early Concept Designs*. **Architectural Design**, 2009. 79(2), 52-57.
- [4] Rasdorf, W.J. ve S. Lakmazaheri, *Logic-Based Approach for Modeling Organization of Design Standards*. **Journal of Computing in Civil Engineering**, 1990. 4(2), 102-123.
- [5] Jain, D., K.H. Law, ve H. Krawinkler. *On Processing Standards with Predicate Calculus*. **Sixth Conference on Computing in Civil Engineering**. 1989. Atlanta, Georgia: ASCE.
- [6] Garrett, J.H.J. ve M.M. Hakim, *Object-Oriented Model of Engineering Design Standards*. **Journal of Computing in Civil Engineering**, 1992. 6(3), 323-347.
- [7] Kiliccote, H., J. James H. Garrett, T.J. Chmielenski, ve K.A. Reed. *The Context-Oriented Model: An Improved Modeling Approach for Representing and Processing Design Standards*. **First ASCE Congress on Computing in Civil Engineering**. 1994. Washington, D.C.: New York: ASCE.
- [8] Liebich, T., J. Wix, J. Forester, ve Z. Qi. *Speeding-up the Building Plan Approval - the Singapore E-Plan Checking Project Offers Automatic Plan Checking Based on Ifc*. **European Conferences on Product and Process Modelling (ECPM) 2002 - eWork and eBusiness in Architecture, Engineering and Construction**. 2002. Portoroz, Slovenia: eWork and eBusiness in Architecture, Engineering and Construction.
- [9] Conover, D., *Development and Implementation of Automated Code Compliance Checking in the U.S*. 2007, International Code Council.
- [10] Kerrigan, S. ve K.H. Law. *Logic-Based Regulation Compliance-Assistance*. **9th International Conference on Artificial Intelligence and Law** 2003. Scotland, United Kingdom: ACM.
- [11] Fenves, S.J., *Tabular Decision Logic for Structural Design*. **Journal of Structural Division ASCE**, 1966. 92, 473-490.
- [12] Fenves, S.J., E.H. Gaylord, ve S.K. Goel, *Decision Table Formulation of the 1969 Aisc Specification*, in *Civil Engineering Studies SRS-347*. 1969.
- [13] Nyman, D.J., S.J. Fenves, ve R.N. Wright, *Restructuring Study of the Aisc Specification*, in *Civil Engineering Studies SRS-393*. 1973, Department of Civil Engineering, University of Illinois Engineering Experiment Station: Urbana-Champaign.
- [14] Rosenman, M.A. ve J.S. Gero, *Design Codes as Expert Systems*. **Computer-Aided Design**, 1985. 17(9), 399-409.
- [15] Dym, C.L., R.P. Henchey, E.A. Delis, ve S. Gonick, *A Knowledge-Based System for Automated Architectural Code Checking*. **Computer-Aided Design**, 1988. 20(3), 137-145.
- [16] Rasdorf, W. ve T. Wang, *Generic Design Standards Processing in an Expert System Environment*. **Journal of Computing in Civil Engineering**, 1988. 2(1), 68-87.
- [17] Kumar, B., *Knowledge Processing for Structural Design*. 1995, Southampton, UK ;; Computational Mechanics Publications.
- [18] Waard, M.d. *Computer Aided Conformance Checking*. **Computers and Building Standards Workshop**. 1992. Montreal, Canada: Research Press of the National Research Council of Canada.
- [19] Yabuki, N. ve K.H. Law, *An Object-Logic Model for the Representation and Processing of Design Standards*. **Engineering with Computers**, 1993. 9(3), 133-159.

- [20] Kiliccote, H.ve J.H. Garrett, *Standards Modeling Language*. **Journal of Computing in Civil Engineering**, 1998. 12(3), 129-135.
- [21] AEC3. *International Code Council*. 2012 February, 23, 2013]; Available from: http://www.aec3.com/en/5/5_013_ICC.htm.
- [22] Conover, D., *Method and Apparatus for Automatically Determining Compliance with Building Regulations*. 2009: Washington, DC, US.
- [23] Yurchyshyna, A., C. Faron-Zucker, N.L. Thanh, ve A. Zarli. *Towards an Ontology-Enabled Approach for Modeling the Process of Conformity Checking in Construction*. **CAiSE Forum**. 2008. Montpellier, France.
- [24] Pauwels, P., vd., *A Semantic Rule Checking Environment for Building Performance Checking*. **Automation in Construction**, 2011. 20(5), 506-518.
- [25] Cheng, C.P., vd., *Improving Access to and Understanding of Regulations through Taxonomies*. **Government Information Quarterly**, 2009. 26(2), 238-245.
- [26] Salama, D.M.ve N.M. El-Gohary, *Semantic Modeling for Automated Compliance Checking*, **Computing in Civil Engineering**. 2011, 641-648.
- [27] Zhang, J.ve N.M. El-Gohary. *Automated Information Extraction from Construction-Related Regulatory Documents for Automated Compliance Checking*. **CIM W78-W102 Conference**. 2011. Sophia Antipolis, France.
- [28] Ding, L., vd., *Automating Code Checking for Building Designs – Designcheck*, in *Clients Driving Innovation: Moving Ideas into Practice*, K. Brown, K. Hampson, ve P. Brandon, Editors. 2006, Cooperative Research Centre (CRC) for Construction Innovation: Gold Coast, Queensland, Australia, 113-126.
- [29] Eastman, C.M., J.-m. Lee, Y.-s. Jeong, ve J.-k. Lee, *Implementation of Automatic Circulation Checking Module*. 2008, Georgia Tech. .
- [30] Nyman, D.J.ve S.J. Fenves, *An Organization Model for Design Specifications*. **Journal of structural Division ASCE**, 1975. 101(4): p. 697-716.
- [31] Hakim, M.M.ve J.H. Garrett. *Issues in Modelling and Processing Design Standards*. **The joint CIB Workshops on Computers and Information in Construction**. 1992. CIB Publication 165.
- [32] Fenves, S.J., vd., *Computer Representations of Design Standards and Building Codes: U.S. Perspective*. **The International Journal of Construction Information Technology**, 1995. 3(1), 13-34.
- [33] Nisbet, N., J. Wix, ve D. Conover, *The Future of Virtual Construction and Regulation Checking*, **Virtual Futures for Design, Construction & Procurement**. 2009, Blackwell Publishing Ltd. 241-250.
- [34] Macit, S., M.E. İlal, H.M. Günaydın, ve G. Suter. *İzmi Municipality Housing and Zoning Code Analysis and Representation for Compliance Checking*. **20th Workshop of the European Group for Intelligent Computing in Engineering**. 2013. Vienna, Austria: EG-ICE.
- [35] Macit, S., G. Suter, M.E. İlal, ve H.M. Günaydın. *Yapı Yönetmeliklerinin Bilgisayarda Modellenmesine Yönelik Analiz Çalışması. 2. Proje ve Yapım Yönetimi Kongresi*. 2012. İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Urla-İzmir.