

## Bina Yönetmelik Alan Bilgi Gösterimleri

Murat AYDIN <sup>1\*</sup> 

ORCID 1: 0000-0002-3928-2936

<sup>1</sup> Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 06110, Ankara, Türkiye.

\*e-mail: aydinmrt@ankara.edu.tr

### Öz

*İnşaat sektöründe kullanılan bina yönetmelikleri insan dilinde yazılmış, insan tarafından yorumlanan, insan tarafından uygulanması zorunlu olan ve genellikle yerel yönetimler tarafından kontrolü yapılan yasal belgelerdir. Söz konusu belgeler zorunlu olduğu kadar yönetmelik maddesinde yer alan ifadelerin belirsizliği, maddelerin uygulama esnekliği, maddelerdeki tanımların eksikliği vb. gibi özelliklerinden dolayı, kesin ve net olmayan bir dile sahiptirler. Bu karmaşıklığı önlemek için inşaat sektöründe uzman kişiler tarafından hesaplanabilir bina yönetmelik temsili çalışmaları gerçekleştirilmektedir. Uzmanların çabasıyla yönetmelikler birçok farklı, resmi dillere dönüştürülmekte ve mevcut sistemlere entegre edilmektedir. İhtiyaç duyulan her türlü bilgi ve veri, akıl yürütme sayesinde seçip alınarak, çeşitli doğruluk düzeylerinde uygulanmaktadır. Bu uygulamaların yürütüldüğü alanlar, uzun yıllar boyunca otomatik bina yönetmelik uygunluk kontrolü sistemlerinin geliştirildiği bina yönetmelik alan bilgi gösterimlerine yönelik olmuştur. Bu çalışmada, bina yönetmelik alan bilgi gösterimlerinde kullanılan diller ve yöntemler araştırılmıştır. Çalışmalarda kullanılan diller ve yöntemler İnsan Dili, İşaretleme Dilleri, Biçimsel Diller, Semantik Web Dilleri, Yapay Zekâ Yöntemleri ve Hibrit Yöntemler başlıkları altında gruplandırılmış ve detaylı bilgi verilmiştir.*

**Anahtar Kelimeler:** Alan bilgi gösterimleri, bina yönetmelikleri, diller ve yöntemler, gruplandırma, inşaat sektörü

## Building Regulations Domain Knowledge Representations

### Abstract

*Building regulations are written in human language, are subject to human interpretation and enforcement, and are frequently governed by local governments in the construction sector. These regulations lack clear and unambiguous language because of things like the ambiguity of the terms in the building regulation provisions, the flexibility with which they may be used, and the absence of definitions in the regulation clauses. Computerized building regulation representation studies are carried out by professionals in the construction sector to prevent this complication. Building regulations are being translated into several official languages and incorporated into current systems thanks to the efforts of specialists. The reasoning selects and applies numerous types of facts and information with varying degrees of precision. For many years, there have been several efforts made to improve the building regulations domain knowledge representations. The languages and techniques used in the domain knowledge representations of the building regulations were examined in this study. They were categorized under the following headings: Human Language, Markup Languages, Formal Languages, Semantic Web Languages, Artificial Intelligence Methods, and Hybrid Methods. The study's languages and methods were discussed in great depth.*

**Keywords:** Domain knowledge representations, building regulations, languages and methods, grouping, construction industry

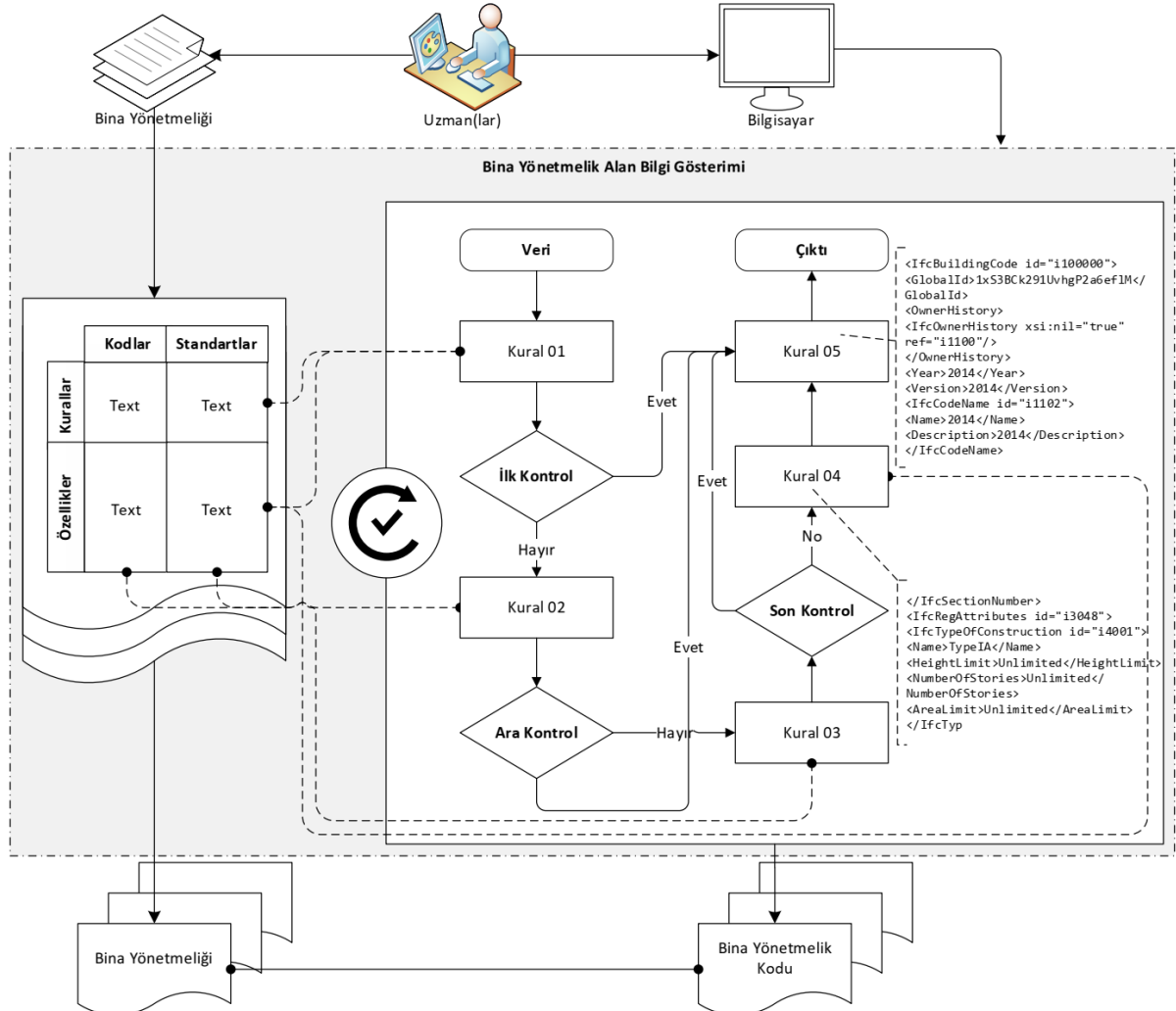
**Citation:** Aydın, M. (2022). Building regulations domain knowledge representations. *Journal of Architectural Sciences and Applications*, 7 (2), 707-733.

**DOI:** <https://doi.org/10.30785/mbud.1179117>

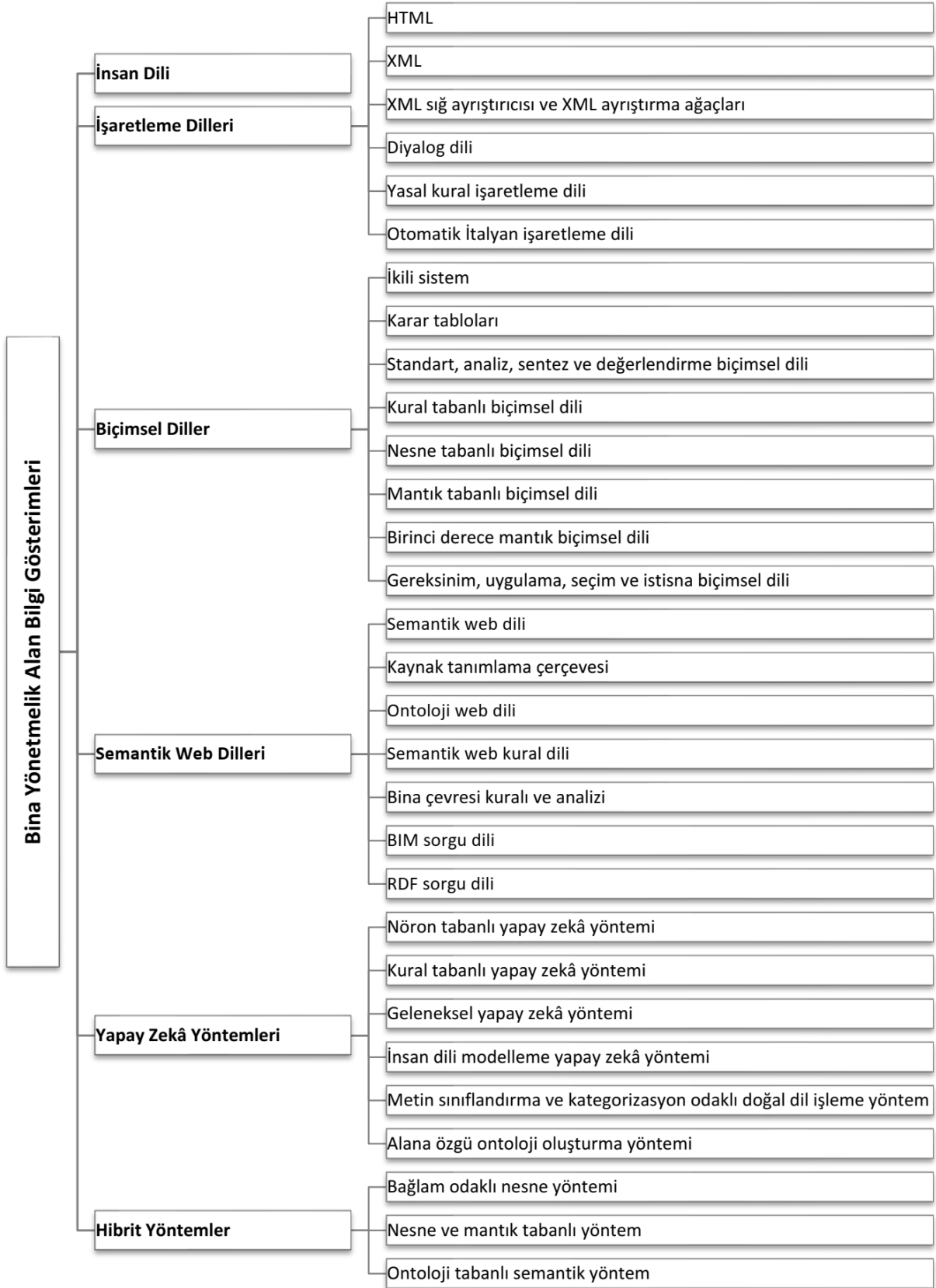


## 1. Giriş

İnşaat sektöründe kullanılan bina yönetmelikleri insan dilinde yazılmış, insan tarafından yorumlanan, uygulanması zorunlu olan ve genellikle yerel yönetimler tarafından kontrolü yapılan yasal belgelerdir (Fenves ve diğerleri, 1987; Sowa, 2006). Söz konusu belgeler zorunlu olduğu kadar yönetmelik maddesinde yer alan ifadelerin belirsizliği, maddelerin uygulama esnekliği, maddelerdeki tanımların eksikliği vb. gibi özelliklerinden dolayı, kesin ve net olmayan bir dile sahiptir (Lau ve Law, 2004; Nawari, 2012b). Bu karmaşıklığı önlemek için inşaat sektöründe uzman kişiler tarafından hesaplanabilir bina yönetmelik temsili çalışmaları gerçekleştirilmektedir. Uzmanların çabasıyla yönetmelikler birçok farklı, resmi dillere dönüştürülmekte ve mevcut sistemlere entegre edilmektedir (Dym ve diğerleri, 1988; Kumar, 1989; Rasdorf ve Wang, 1988; Rosenman ve Gero, 1985). İhtiyaç duyulan her türlü bilgi ve veri, akıl yürütme sayesinde seçip alınarak çeşitli doğruluk düzeylerinde uygulanmaktadır. Bu uygulamaların yürütüldüğü alanlar, uzun yıllar boyunca otomatik bina yönetmelik uygunluk kontrolü sistemlerinin geliştirildiği bina yönetmelik alan bilgi gösterimlerine yönelik olmuştur (Aydın, 2022c; Berners-Lee ve diğerleri, 2008; Biagioli ve diğerleri, 2004; Boer ve diğerleri, 2008; Boley, 2006; Brickley ve diğerleri, 2014; Brown ve diğerleri, 1992; Cyganiak, 2005; Dym ve diğerleri, 1988; Fenves, 1966; Fenves ve diğerleri, 1987; Fenves ve diğerleri, 1969; Garrett Jr ve Hakim, 1992; Gutierrez ve diğerleri, 2005; Hakim ve Garrett, 1993; Hjelseth ve Nisbet, 2010a, 2011; Horrocks ve diğerleri, 2004; Kiliccote ve diğerleri, 1994; Kiliccote ve Garrett Jr, 1998; Kumar, 1989; Lau ve Law, 2004; Lee, 2011; Leibniz, 1923; Lupu ve diğerleri, 2007; Mazairac ve Beetz, 2013; Melzner ve diğerleri, 2013; Minsky ve Papert, 1970; Nawari, 2012b, 2012a; Nawari ve Alsaffar, 2015; Nyman ve diğerleri, 1973; Omari ve Roy, 1993; Palmirani ve diğerleri, 2011; Pauwels ve diğerleri, 2011; Rasdorf ve Wang, 1988; Rosenblatt, 1958; Rosenman ve Gero, 1985; Rumelhart ve diğerleri, 1986; Sartor ve diğerleri, 2011; Sowa, 2006; Walton, 2007; Yabuki ve Law, 1993; Yurchyshyna ve Zarli, 2009; Zhang ve El-Gohary, 2016; Zhang ve Issa, 2011).



Şekil 1. Bina yönetmelik alan bilgi gösterimlerinin konsept diyagramı



**Şekil 2.** Bina yönetmelik alan bilgi gösterimlerinin listesi

Otomatik bina yönetmelik uygunluk kontrolü sürecindeki ilk aşama, bina yönetmeliklerinin alan bilgi gösterimiyle başlamaktadır. Alan bilgi gösteriminde bina yönetmeliklerinin hesaplanabilir olarak temsil edilmesi gerekmektedir. Bunun için her bir yönetmeliğin semantik yapısının belirli dil araçları kullanılarak kurallara çevrildiği bir yorumlama işlemi uygulanmaktadır. Daha sonra kurallar, özel bir yazılım veya programlama diliyle entegre edilerek yönetmelik kuralları ile yazılım arasında veri girişini sağlayan BIM modeli verileriyle bina yönetmelik uygunluk kontrolü uygulamasına geçilmektedir. Bu

yüzden bina yönetmelik uygunluk kontrolü sürecinin otomasyonunda, yönetmelik bilgisinin tamamının veya bir kısmının özelliklerini kabul eden, bilgisayar tarafından okunabilen bir formatta bina yönetmeliklerinin temsil edilmesi önemlidir (Aydın, 2022b; Kiliccote ve Garrett Jr, 1998; Minsky ve Papert, 1970; Zhang ve Issa, 2011).

Şekil 1’de bina yönetmelik alan bilgi gösterimlerinin konsept diyagramı gösterilmiştir. Hesaplanabilir bina yönetmelik gösterimi için örnek bir bina yönetmeliğine ihtiyaç vardır. Yönetmelik içeriği alan bilgi gösterim dilleri aracılığıyla özelliklerine ayrıştırılır. Her bir yönetmelik maddesi veya sadece kontrol koşullarını içeren madde metinleri kural öncesi kendi içinde sınıflandırılır. İlgili bina yönetmeliğine göre oluşturulan kuralların kontrolü için otomatik bina yönetmelik uygunluk kontrolü sistemleri kullanılır. Her bir kuralın koşulları sağlandığında pas geçilerek bir sonraki kuralın kontrolüne geçilir ya da kuralın koşulu sağlanmadığında oluşturulan kural tekrardan kontrol edilir (Aydın, 2022a; Aydın ve Yaman, 2020; Berners-Lee ve diğerleri, 2008; Brickley ve diğerleri, 2014; Fenves, 1966; Omari ve Roy, 1993; Yabuki ve Law, 1993; Yurchyshyna ve Zarli, 2009).

## 2. Materyal ve Yöntem

Şekil 2’te bina yönetmelik alan bilgi gösterimlerinin listesi gösterilmiştir. Çalışma kapsamında, alan bilgi gösteriminde kullanılan diller ve yöntemler ortak başlıklar altında gruplandırılmış, detaylı bilgi ilgili başlıklar altında verilmiştir. Bunlar:

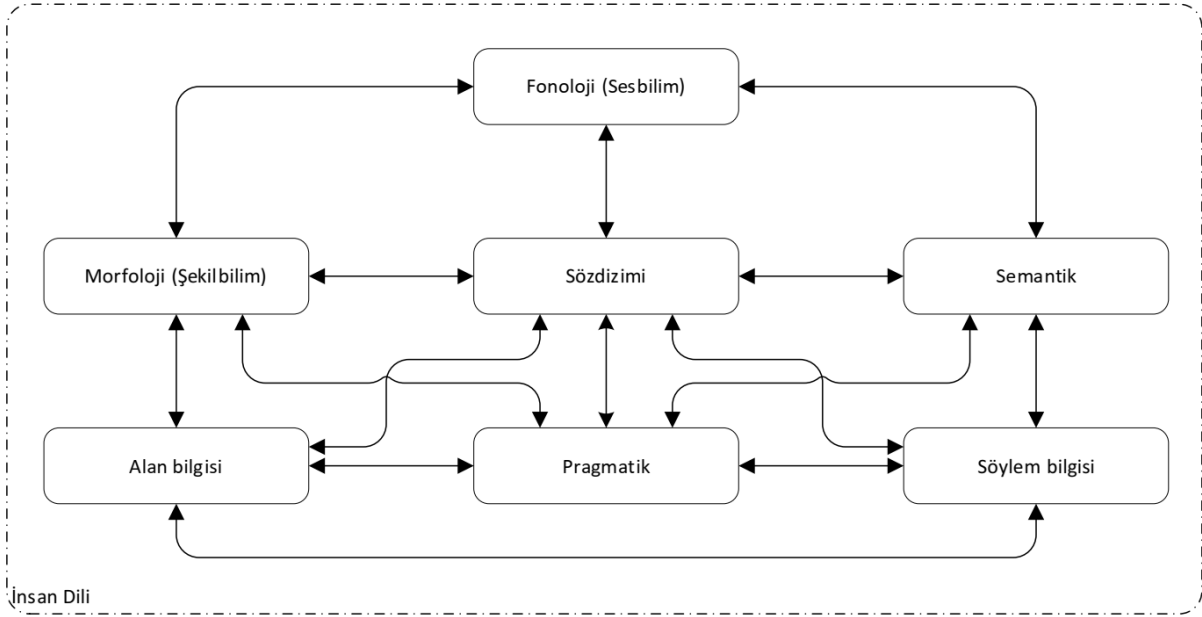
- İnsan Dili,
- İşaretleme Dilleri,
- Biçimsel Diller,
- Semantik Web Dilleri,
- Yapay Zekâ Yöntemleri,
- Hibrit Yöntemler.

### 2.1. İnsan Dili

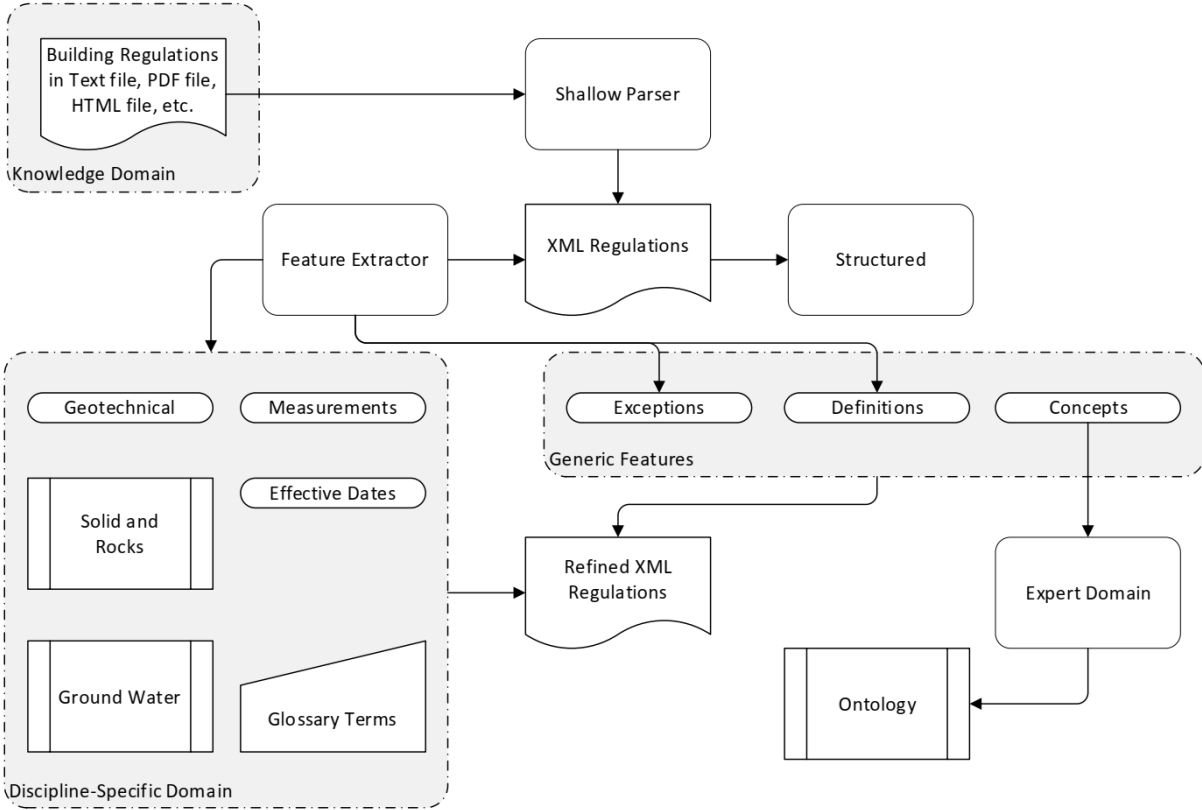
İnsan dili, bilişsel olarak bir çocuğun kendini ifade etme sürecinde elde edebileceği bir dil anlamına gelmektedir. Yetişkin bir birey düşüncesini ifade ederken, nefes hızına ve kısa süreli hafızanın sınırlamalarına göre insan dilini konuşmaktadır. Bu, kelime dağarcığı ile ifadelerin sayısız genişletilebilirliğini göstermektedir. Şekil 3’te gösterilen insan dilinin temel özellikleri şunlardır (Sowa, 2006):

- Fonoloji (sesbilim), kelimelerin seslerle nasıl bağlantılı olduğunu gösterir.
- Morfoloji (şekilbilim), kelimelerin daha ilkel morfemlerden nasıl meydana geldiğini gösterir.
- Sözdizimi, kelimelerin sıralanarak nasıl doğru cümleler oluşturduğunu gösterir.
- Semantik, kelimelerin anlamını gösterir.
- Pragmatik, cümlelerin farklı durumlarda nasıl kullanıldığını gösterir.
- Söylem bilgisi, bir cümlenin anlamını nasıl belirlediğini gösterir.
- Alan bilgisi, bir konuşmadaki algıları, duyguları, inançları ve yöresel bilgileri gösterir.

Diller zaman içinde evrimleşmiş ve çeşitlenmiştir. Bu durum her dilin dilbilgisini karmaşık kılmıştır. İnsan diliyle başa çıkmadaki zorluklar, insan beyninin çalışma şeklinden veya dilin bilgiyi ifade etme biçiminden kaynaklanmaktadır. Zorluğun önemli bir kısmı, dilde kullanılan farklı kelimelerin birbiriyle uyumsuzluğundan ortaya çıkmaktadır. Kelimelerin aşırı genelleştirilmesi, kelime tanımlarındaki eksiklikler, kelimelerin dil içinde bulunduğu anormal koşullar, kelimelerin çelişen varsayımları, kelimelerin uygunsuz kullanımı vb. sebepler, zorlukların nedenini oluşturmaktadır. Tarih boyunca birçok araştırmacı, bu konuya odaklanmış ve yaşanan zorlukların insan dilinin önemli bir bileşeni olduğunu fark etmişlerdir. Zorlukların beraberinde getirdiği belirsizliklerin doğal bir dilde kusur olmadığını çalışmalarında vurgulamışlardır. Doğal diller ile insan tarafından oluşturulan biçimsel diller arasında nasıl bir bağlantı kurulması gerektiğini gündeme getirmişlerdir.



Şekil 3. İnsan dilinin temel özellikleri



Şekil 4. Bina yönetmeliğinin XML'de gösterimi

## 2.2. İşaretleme Dilleri

Araştırmacılar, bina yönetmeliklerini ve yasal düzenlemelerini göstermek ve resmileştirmek için işaretleme dillerini kullanmışlardır. Bazı çalışmalarda standart işaretleme dilleri (HTML, XML, vb.) tercih edilirken, bazılarında ise standart işaretleme dillerini referans alan yeni yaklaşımlar önerilmiştir.

### 2.2.1. HTML

Günümüzde, bina yönetmeliklerinin ve standart belgelerin çoğu basılı kopyaya ek olarak HTML biçiminde elde edilmektedir. HTML, web sayfalarını oluşturmak için kullanılan standart metin işaretleme dilidir.

## 2.2.2. XML

XML hem insanlar hem bilgi işlem sistemleri tarafından kolayca okunabilecek dokümanlar oluşturmaya yarayan bir işaretleme dilidir. Bu özelliği sayesinde veri saklamanın yanında farklı sistemler arasında veri alışverişini sağlayan bir ara format görevi de görmektedir. Lau ve Law (2004) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada bina yönetmeliklerini temsil etmek için XML tabanlı bir format önerilmiştir (Lau ve Law, 2004). Şekil 4'de gösterilen formatın, bina yönetmelik kaynağı için bir işaretleme dili, dijital işleme kapasitesi içinse bir web standardı özelliği bulunmaktadır.

## 2.2.3. XML sığ ayrıştırıcısı ve XML ayrıştırma ağaçları

Lau ve Law (2004) tarafından bina yönetmeliklerini temsil etmek için birleşik XML formatı önerilmiş, Şekil 4'te bina yönetmeliğinin XML'de gösterimine ait bir örnek gösterilmiştir (Lau ve Law, 2004). Bu çalışmada, çeviri sürecini kısmen otomatikleştirmek için farklı bina yönetmelik kural formatlarını XML'e dönüştürmenin ilk adımı olarak XML sığ ayrıştırıcısı hazırlanmıştır. Yönetmeliklerin yarı yapılandırılmış bilgileri XML şemasında gösterilmiş, yapılandırılmamış diğer bilgiler için bir özellik çıkarma mekanizması kullanılmıştır.

Bu çalışmada, semantik kullanılarak bina yönetmeliklerin içeriklerini referans etiketleme ile işaretleyen XML ayrıştırma ağaçları geliştirilmiş, bir örneği Şekil 5'te gösterilmiştir (Lau ve Law, 2004). XML ayrıştırma ağaçlarının yapısında yer alan XML referans etiketlerinin hiyerarşisi önce bina yönetmeliğini işaretleyen yönetmelik ID ile başlamıştır. Daha sonra ilgili yönetmeliğin bölümünden maddesine kadar olan bilgiler için eleman ID kullanılmıştır. Son olarak, maddenin numarası ID ve maddenin metni Text referans etiketiyle işaretlenmiştir. XML referans etiketlerinin hiyerarşisini gösteren bir örnek Şekil 5'te gösterilmiştir. Bu örnekte erişilebilir elemanlar ve mekanlar, bölüm 4, madde 5'e atıfta bulunulmuştur. XML ayrıştırma ağaçları, referans etiketi aracılığıyla bina yönetmelik kodlarının kullanıcılar tarafından daha kolay anlaşılmasını sağlamıştır.

```
<regulation id="adaag" name="ADA Accessibility Guidelines" type="Federal"> ...
  <regElementid="adaag.4" name="Accessible Elements and Spaces..."> ...
    <regElementid="adaag.4.7" name="Curb Ramps"> ...
      <regElementid="adaag.4.7.4" name="Surface">
        <regText> Surfaces of curb ramps shall comply with 4.5. </regText>
        <referenceid="adaag.4.5" num="1" />
      </regElement> ...
    </regElement> ...
  </regElement> ...
</regulation>
```

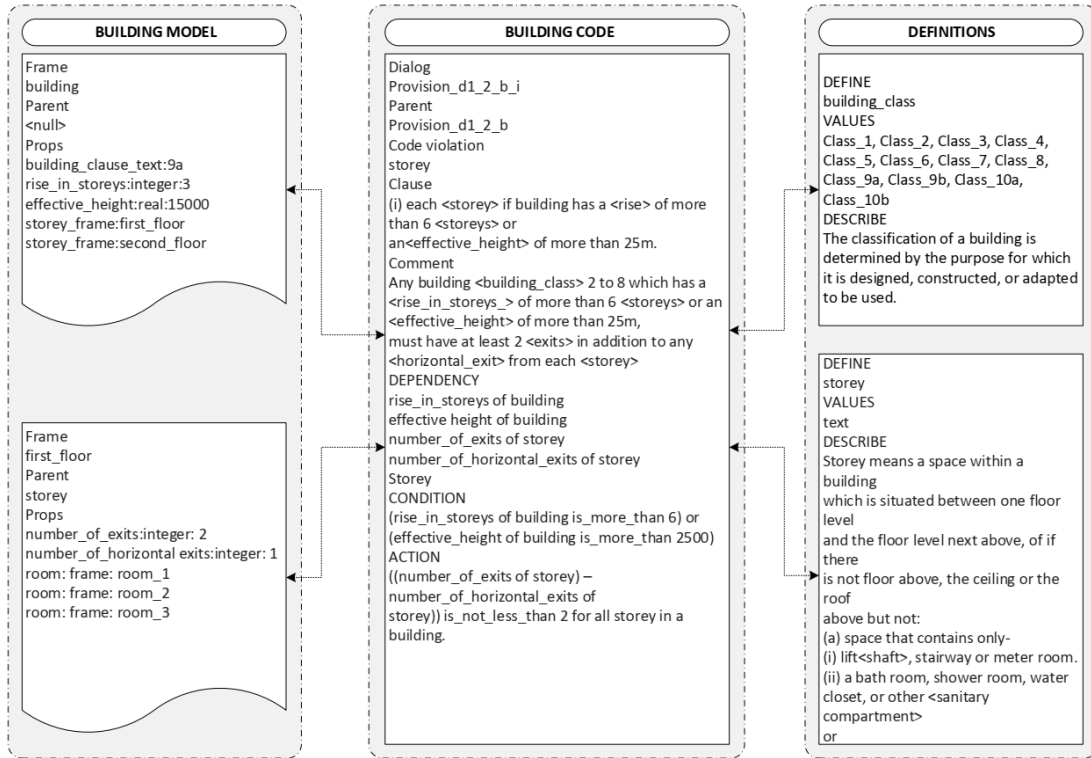
Şekil 5. XML ayrıştırma ağacı örneği

## 2.2.4. Diyalog dili

İşaretleme dili kullanılarak yapılmış ilk çalışmalardan biri olan diyalog dili (DL), Omari ve Roy (1993) tarafından bina yönetmeliklerinin alan bilgi gösterimi için önerilmiştir (Omari ve Roy, 1993). Diyalog dili, Avustralya Can Güvenliği Yönetmeliği'ni uzman bir sistemde yorumlamak için geliştirilmiştir. Yönetmelik maddelerinin yanı sıra kullanıcılar ve uzman sistemler arasındaki etkileşimleri temsil etmek için de kullanılmıştır. Diyalog dilinde, bina yönetmelik kodlarının hiyerarşik düzeni için sekiz temel öğeden oluşan bir çerçeve sunulmuştur. Bu öğeler sırasıyla diyalog ID, ana ID, madde, koşul, kod ihlali, eylem, yorum ve bağlılıktır. Diyalog dili, tasarımcıların anlamlı raporlar oluşturmak için hiyerarşik bina yönetmelik kodlarını ve bina modelleriyle etkileşimlerini yönetmeyi sağlayan basit bir şema yapısına sahiptir. Şekil 6'ta diyalog dili kullanılarak oluşturulan bina yönetmelik kodunun örnek şeması gösterilmiştir.

### 2.2.5. Yasal kural işaretleme dili

Palmirani ve diğerleri (2011) tarafından bina yönetmeliklerinin ve yasal düzenlemelerin kurallarla tanımlanması ve gösterilmesi için XML tabanlı yasal kural işaretleme dili (LegalRuleML) önerilmiştir (Palmirani ve diğerleri, 2011). Dilin amacı, yasal bina yönetmeliklerinin ve normlarının özelliklerini kapsamlı, eklenmiş ve anlamlı bir işaretleme diliyle temsil etmektir. Bu nedenle LegalRuleML içinde yasal bina yönetmeliklerinin ve normlarının özelliklerini karşılayan semantik web teknolojisini kullanan özelleştirilmiş XML işaretleme dili kullanılmıştır. ABD Telif Hakkı İhlali Yönetmeliği'nin bölüm 17, madde 6, cümle 602, bent b'de yer alan metnin yasal kural işaretleme dilindeki gösterimi Şekil 7'de gösterilmiştir. A bölümü ilgili maddede yer alan metnin yazısal ifadesini, B bölümü ise ilgili metnin yasal kural işaretleme dilindeki ifadesini göstermektedir. LegalRuleML yaklaşımı birçok araştırmacı tarafından kabul görmüş, bina yönetmeliklerinin yasal kurallara ile ifade edilmesine yönelik LegalRuleML benzeri modelleme dilleri önerilmiştir (Boer ve diğerleri, 2008; Lupo ve diğerleri, 2007; Palmirani ve diğerleri, 2011; Sartor ve diğerleri, 2011).



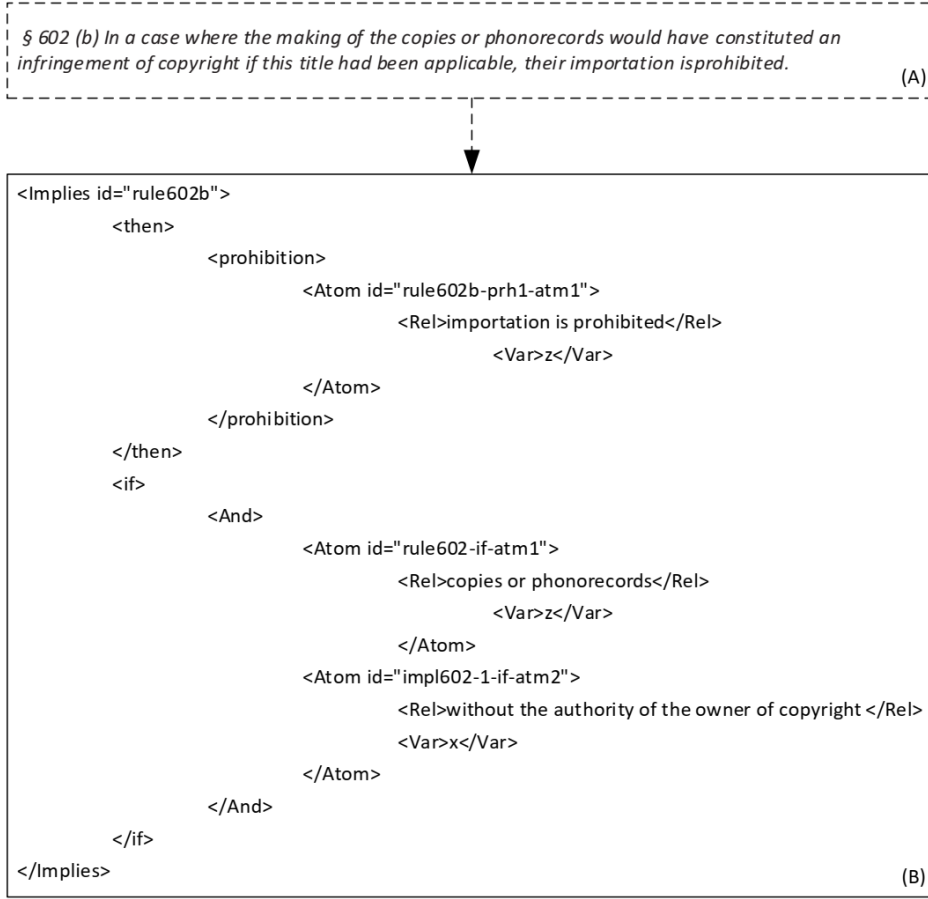
Şekil 6. Diyalog dili kullanılarak oluşturulan bir bina yönetmelik kodu örneği

### 2.2.6. Otomatik İtalyan işaretleme dili

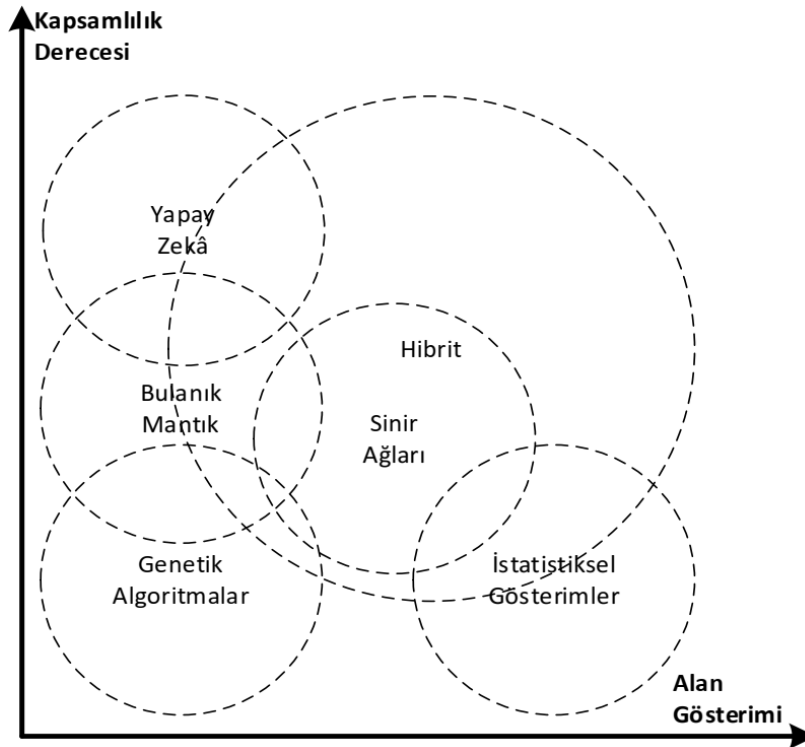
Baigoli ve diğerleri tarafından (2004), İtalyan bina yönetmelik metinlerinin XML biçiminde otomatik olarak işaretlenmesine yönelik bir çalışma yapılmıştır (Biagioli ve diğerleri, 2004). Bu çalışmada, bina yönetmeliklerinin otomatik olarak XML biçimine dönüştürülmesi için önce yönetmelik içeriklerinin kümelenebilmesi, sonra yönetmelik metinlerinin etiketlenmesi işlemleri uygulanmıştır. Kümeleme işlemi için bina yönetmelik metninde yer alan ve vurgulanan terimler seçilerek bir küme içine aktarılmıştır. Bu terimler yönetmelik metnin XML gösteriminde işaretleme değerleri olarak resmileştirilmiştir.

### 2.3. Biçimsel Diller

Manuel olarak insan tarafından gerçekleştirilen bina yönetmelik kontrolünde birçok tutarsızlıklar, uyumsuzluklar, hatalar, suistimaller meydana gelmektedir. Bu sorunların çözümü için birçok araştırmacı BIM'i kullanarak makine odaklı otomatik işlemi destekleyen çalışmalara odaklanmıştır. Bina yönetmeliklerinin bilgisayar tarafından kontrolünü sağlamak için en etkili çözüm, bilgisayar tarafından yorumlanabilen bina yönetmelik kurallarını oluşturma yeteneğine sahip biçimsel dillerini uygulamaktır. Şekil 8'de biçimsel dillerin uygulama alanları gösterilmiştir.



Şekil 7. Yasal kural işaretleme dili örneği



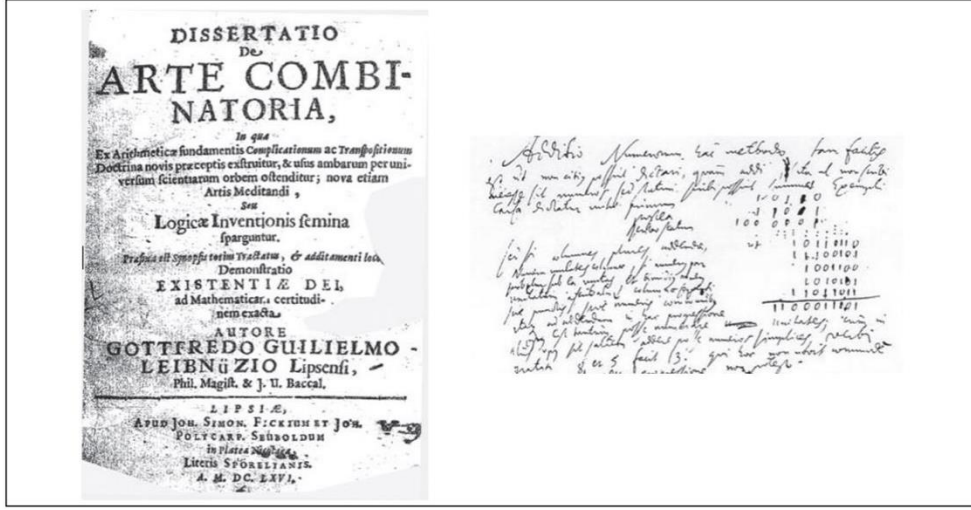
Şekil 8. Biçimsel dillerin uygulama alanları

### 2.3.1. İkili sistem

İlk hesaplanabilir biçimsel dil, 1666 yılında Aristoteles'in varsayımlarını otomatikleştirmek üzerine yapılmış Leibniz'in ikili sistem habilitasyon tezidir (Leibniz, 1923). Şekil 9'da Leibniz'in habilitasyon tezinin kapağı ve ikili sisteme ait örnek bir çalışma gösterilmiştir. Bu çalışma, mantık ve ontoloji sistemi üzerine kurulmuştur. Aristoteles'in varsayımlarında, dört cümle düzenine dayanan akıl yürütme



kuralları oluşturulmuştur (Nawari, 2012b). Bu kuralları kodlamak için dört (ekleme, çıkarma, çarpma ve bölme) ikili sistemin hesaplama özelliği kullanılmıştır. Gelecekteki makine odaklı çalışmalarda, mantık kurallarını hesaplamak için bu sistemin kullanılacağı belirtilmiştir.



Şekil 9. Leibniz'in habilitasyon tezi

### 2.3.2. Karar tabloları

Fenves (1966) tarafından önerilen karar tabloları, bina yönetmeliklerinin biçimsel dilde temsil edilmesi için yapılan ilk çalışmalardan birisidir (Fenves, 1966). Bu çalışmada, bina yönetmelik maddeleri kesin ve açık bir karar tablosu biçiminde gösterilmiştir. Karar tabloları yönetmelik maddelerini, ilgili maddede açıkça belirtilen verilerini bir dizi koşul olarak temsil etmiştir. Bir veri, bina yönetmelik maddesinde yer alan bina elemanı bilgisinin kesin bir tanımını içermiştir. Şekil 10'da görüldüğü gibi örnek bir karar tablosu dört bölüme ayrılmıştır. Sol üstte yer alan koşul belirleme kısmı sonuç üzerinde etkili olan koşulların listesini, sağ üstte yer alan koşul girişi kısmı koşulların ilgili kombinasyonlarını göstermektedir. Karar tablosundaki her sütun, bir madde kuralını ifade etmektedir. Karar tablosunun sol alt kısmı koşul için uygulanacak tüm eylemleri, sağ alt kısmı ise belirtilen kurala karşılık gelen koşul için uygulanacak eylem girişlerini göstermektedir. Koşul girişi, üç olası değerden sadece birine sahip olabilir. Y koşulun doğru olduğunu, N koşulun yanlış olduğunu, I koşulun önemsiz olduğu anlamına gelmektedir.

	Rules Stub	Rules Entry		
Condition	Condition Stub	Condition Entry		
	Related space of a door: Entrance	Y	N	N
	Related space of a door: Room	N	N	Y
	Related space of a door: Kitchen	Y	N	N
Action	Action Stub	Action Entry		
	Minimum door width: 0.80 m		Y Y Y	Y
	Minimum door width: 0.90 m	Y Y Y	Y	N
	Minimum door width: 1.00 m	Y	N	N N N

Şekil 10. Bir karar tablosu örneği

Fenves, Gaylord ve Goel (1969) tarafından karar tablolarının farklı kombinasyonları üzerine çalışma yapılmıştır (Fenves ve diğerleri, 1969). Bu çalışmada, yönetmelik kurallarının ve koşullarının

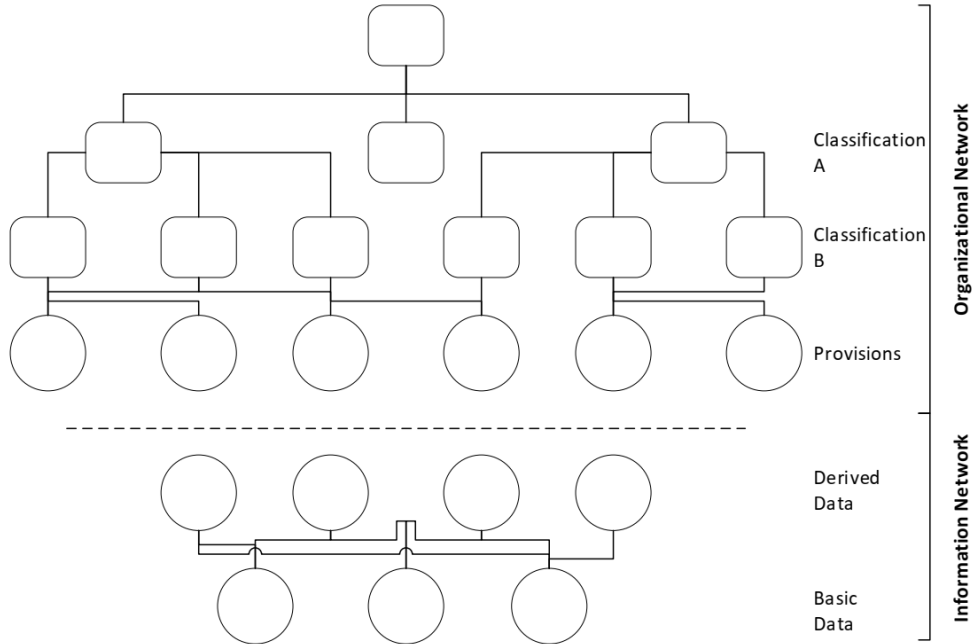
uygulanabileceği karar tablolarının farklı kombinasyonları oluşturulmuştur. Fenves bu çalışmasını, yeni bir eğer-sonra programlama tekniği olarak adlandırmıştır. Bina elemanlarının tasarım kriterlerini içeren yönetmelik maddeleri, eğer-sonra programlama tekniği ile kesin ve açık bir biçimde temsil edilmiştir.

### 2.3.3. Standart, analiz, sentez ve değerlendirme biçimsel dili

Karar tabloları, bina yönetmelik maddelerinin olası koşul kombinasyonlarını ve eylemlerini kesin olarak biçimsel dilde ifade edebilse de bir bina yönetmeliğinin genel organizasyonuna ve yönetmelik maddeleri arasındaki ilişkilere cevap verememektedir. Fenves ve diğerleri (1987) tarafından bina yönetmeliklerini daha geniş kapsamlı temsil etmek için standart, analiz, sentez ve değerlendirme biçimsel dili (SASE) geliştirilmiştir (Fenves ve diğerleri, 1987). SASE'nin konsepti, Nyman ve diğerleri (1973) tarafından geliştirilen bina yönetmeliklerinin mantıksal yapısının soyut modeli temelinde tasarlanmıştır (Nyman ve diğerleri, 1973). Şekil 11'de SASE biçimsel dilinin kurgusu gösterilmiştir. SASE bireysel maddeleri, maddeler arasındaki ilişkileri ve bina yönetmelik düzenini temsil etmek için dört seviyeli düzene sahiptir. Bunlar:

- Bina yönetmeliğinin ana hatlarını ve organizasyonunu temsil eden üst seviye,
- Bina yönetmelik maddeleri arasındaki bağıllık ilişkisini temsil eden orta seviye,
- Bina yönetmelik maddelerini karar tabloları biçiminde temsil eden ayrıntılı seviye,
- Bina yönetmelik maddelerinde belirtilen temel verileri temsil eden düşük seviye.

SASE'de bir veri, temel veri ve türetilmiş veri olarak ikiye ayrılmıştır. Bina yönetmeliğindeki her bir madde karar tablosuyla temsil edilmiştir. Her bir karar tablosunun koşul değeri Y, N ve I ile sınırlandırılmıştır. Bina yönetmeliğinin verileri arasındaki öncelik ilişkilerini temsil etmek için bilgi ağı kullanılmıştır. Bilgi ağı ağ, düğüm ve dallardan oluşmaktadır. SASE biçimsel dili, kullanıcıların ihtiyaçlarına göre bina yönetmeliklerinin dinamik olarak sınıflandırılmasını sağlamıştır. Fakat, SASE'de veri sayısı arttıkça her bir verinin tanımladığı bina elemanına ait koşulların ve özelliklerin sayısı da artmıştır.



Şekil 11. SASE'nin kurgusu

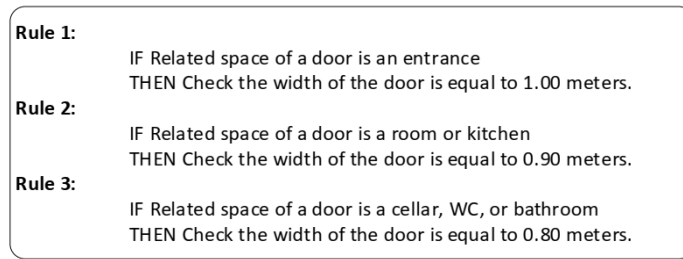
### 2.3.4. Kural tabanlı biçimsel dili

Birçok araştırmacı, bina yönetmeliklerini kurallara dönüştürmek için kural tabanlı biçimsel dilini (RFL) çalışmalarında uygulamışlardır (Dym ve diğerleri, 1988; Kumar, 1989; Rasdorf ve Wang, 1988; Rosenman ve Gero, 1985). RFL'de bina yönetmelik maddeleri, karar tabloları yerine koşul-eylem ifadeleri şeklinde bir kurallar kümesi olarak temsil edilmiştir. Koşul ifadesinde kuralın yerine getirilmesi gereken uygulanabilirlik koşulları, eylem ifadesinde ise yapılması gereken işlemler tanımlanmıştır. RFL'nin diğer bina yönetmelik gösterim yaklaşımlardan daha etkileyici olduğu kabul edilmektedir. Bina

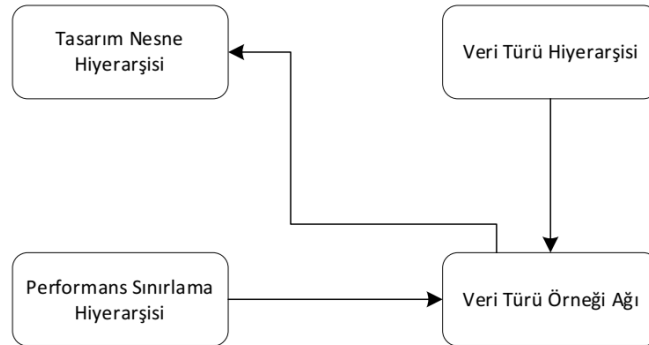
yönetmelik maddelerini kural olarak kabul eden bu yaklaşımın temel avantajı otomatik bina yönetmelik uygunluk kontrolü sistemlerindeki uygulama kolaylığından gelmektedir. Fakat, bu durum bir bina yönetmeliğinin kurala dayalı modellenmesi sonucunda sayıca fazla olan kuralların yönetilmesi sorunu ortaya çıkarmaktadır. Çünkü, bazı yönetmelik maddelerinin birden fazla kural tarafından temsil edilmesi gerekebilmektedir. Ayrıca, kullanıcıların RFL'deki kuralların koşul-eylem ilişkilerini oluşturması için uzman seviyede programlama ve kodlama bilgisine sahip olması beklenmektedir. Bina yönetmelik maddelerini temsil eden kurallar her ne kadar bilgisayar aracılığıyla kodlansa da bina yönetmeliğindeki revizyonlardan dolayı ilgili kuralların da güncellenmesi gerekmektedir. RFL'de bu tür revizyonları gerçekleştirmek ve yanlış yorumlamayı önlemek için uzman kişilerin desteğine ihtiyaç duyulmaktadır.

Şekil 12'de kapılar için koşul ve eylem ilişkisiyle oluşturulmuş bir RFL kural örneği gösterilmiştir. Örnekte 3 adet kural oluşturulmuştur. Kural tanımları aşağıda verilmiştir (Hakim ve Garrett, 1993):

- Kural 1: Koşul; kapı bir giriş kapısıysa, Eylem; kapının genişliği 1 metre olmalıdır.
- Kural 2: Koşul; kapı bir oda veya mutfak kapısıysa, Eylem; kapının genişliği 0,9 metre olmalıdır.
- Kural 3: Koşul; kapı bir kiler, tuvalet veya banyo kapısıysa, Eylem; kapının genişliği 0,8 metre olmalıdır.



Şekil 12. Kapılar için koşul-eylem ifadeleriyle oluşturulmuş bir RFL kural örneği.



Şekil 13. OFL'nin dört temel nesne grubu

### 2.3.5. Nesne tabanlı biçimsel dili

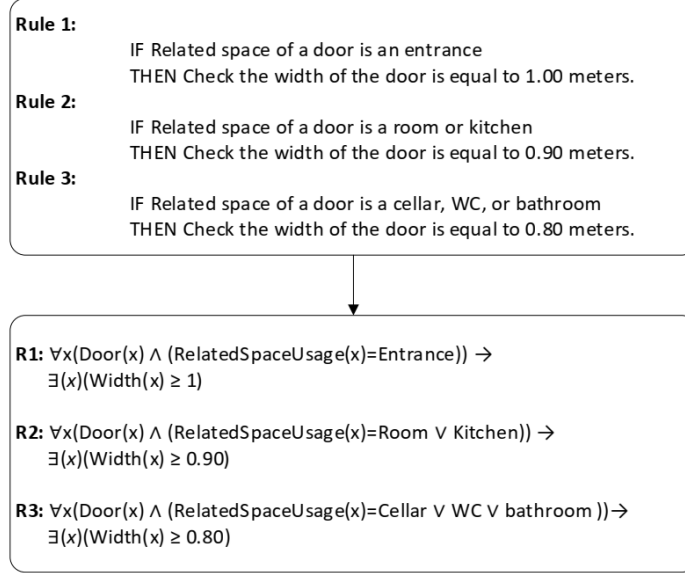
Bina yönetmelikleri kapsamı bakımından birçok veri türünü içermektedir. Özellikle farklı bina elemanlarına ait tanımların, özelliklerin, koşulların yer aldığı yönetmelik maddeleri sayıca fazla, karmaşık veri türlerinin tanımına yol açmaktadır. Bu sorunu çözmek için Garrett ve Hakim (1992) tarafından bina elemanlarına göre bina yönetmeliğinin kolayca organizasyonunu sağlayan nesne tabanlı biçimsel dili (OFL) önerilmiştir. Şekil 13'de gösterilen OFL, dört temel nesne grubundan oluşmaktadır. Bunlar (Garrett Jr ve Hakim, 1992):

- Tasarım nesne hiyerarşisi, bina yönetmeliğindeki nesnelere arasındaki alt sınıf ilişkilerini temsil eder. Nesnelere şekil, işlev, malzeme gibi tasarıma özgü özellikleri ve hiyerarşileri tanımlar.
- Performans sınırlama hiyerarşisi, bina yönetmeliğindeki nesnelere sınırlarını temsil eder.
- Veri türü hiyerarşisi, tüm bina yönetmeliğinde bulunan veri türlerini temsil eder.
- Veri türü örneği ağı, bina yönetmeliğindeki veri türlerinin örneklerini temsil eder.

### 2.3.6. Mantık tabanlı biçimsel dili

Biçimsel dil kullanarak bina yönetmelik gösterimleri konusundaki çalışmaların çoğu yönetmelik kuralların sözdizimine ve gramerine odaklanmıştır. Yönetmelik kurallarını doğru anlamak ve

yorumlamak için uzmanların yeterli bilgi ve beceriye sahip olması gerekmektedir. CORENET e-PlanCheck sisteminde de kullanılan mantık tabanlı biçimsel dili (LFL), bina yönetmelik maddelerini doğal dilden daha kesin, net ve anlaşılır bir biçimsel dile dönüştürmek için kullanılmaktadır (CORENET, 2018). Hakim ve Garrett (1993) tarafından yapılan çalışmada, mantık tabanlı biçimsel dillerin sistemini anlamak için kullanıcıların mantık bilgisine ve mantıksal tahminlere sahip olması gerektiği vurgulanmıştır (Hakim ve Garrett, 1993).



Şekil 14. Kapılar için yüklem mantığıyla oluşturulmuş LFL kural örneği

Mantık tabanlı biçimsel dil, bina yönetmelik maddelerini temsil etmek için yüklem mantığına odaklanmıştır. Yüklem mantığı ifadeleri, iyi biçimlendirilmiş formüller halinde ifade etmek için sistematik bir bilgi temsil dili sağlamaktadır. Şekil 12’de kapılar için koşul-eylem ilişkisiyle oluşturulmuş RFL kuralının yüklem mantığında gösterimi Şekil 14’te gösterilmiştir. Bu örnekte, R kısaltmasıyla gösterilen kuralların uygulanabilirlik bina elemanı koşulları okun sol tarafında belirtilmiştir. Bina elemanının sağlanması gereken sayısal koşulları ise okun sağ tarafında belirtilmiş ve bu mantık ile kodlanmıştır (Hakim ve Garrett, 1993).

### 2.3.7. Birinci derece mantık biçimsel dili

Nawari (2012) tarafından bina yönetmelik maddelerini bilgisayar ortamında kodlamak için birinci derece mantık biçimsel dili (FOL) önerilmiştir (Nawari, 2012a). FOL, bina yönetmeliğindeki yazılı metinlerden bilgi çıkarılmasını sağlayarak yazılı metinleri bir dizi kurala dönüştürmektedir. Fakat bu işlemler için manuel çaba ve teknik bilgisi gerekmektedir. FLO, koşul içeren bina yönetmelik maddelerinde etkili bir şekilde kullanılmaktadır. İlgili maddelerdeki koşullar genellikle bir cümlede ifade edilmektedir. Bu cümle öznesine, yüklemine ve nesnesine ayrılarak özne+yüklem+nesne olarak tanımlanan FLO biçimsel diline çevrilmektedir. FOL nesnelere gösteren terimler, ilişkiler ve fonksiyonlar üzerine kurulmuştur. Sözdizimi ve semantik olmak üzere iki temel mekanizmaya sahiptir (Nawari, 2012b):

- Sözdizimi, sembol gruplarının hangi terimleri yönettiğini belirler.
- Semantik ise bu terimlerin anlamlarını kontrol eder.

### 2.3.8. Gereksinim, uygulama, seçim ve istisna biçimsel dili

Hjelseth ve Nisbet (2010 ve 2011) tarafından dört semantik işaretleme işlemleri kullanılarak bina yönetmelik gereksinimlerini doğrudan bina kurallarına dönüştüren gereksinim, uygulama, seçim ve istisna (RASE) biçimsel dili önerilmiştir (Hjelseth ve Nisbet, 2010b, 2011). RASE, bina yönetmeliklerinin güncellenebilir sayısal temsillerini oluşturmak için iyi bir başlangıç noktası olarak kabul edilmektedir. Bu dilde kural cümleleri alt ifadelerle bölünerek ortak bir yapıda tanımlanmaktadır. Ayrıca RASE, bina yönetmelik temsillerinin oluşturulması ve güncellenmesi için programlama bilgisi gerektirmeyen bir düzen sağlamaktadır (Macit ve Günaydin, 2015). RASE, tamamen bina yönetmeliklerine başarılı veya

başarısız sonuç çıktısı olarak uygulanabilme potansiyeline sahiptir. Bununla birlikte, bina yönetmelik maddelerindeki çapraz referanslar ve madde metinleri arasındaki derin hiyerarşiler ile sınırlamaları bulunmaktadır. RASE dört temel işleç ile tasarlanmıştır. Bunlar:

- Gereksinim (R),
- Uygulama (A),
- Seçim (S),
- İstisna (E).

Şekil 15'te Nem Kontrolü Yönetmeliği'ne ait bir RASE biçimsel kural örneği gösterilmiştir. Örnekte gösterilen yönetmelik maddesinin metni aşağıda verilmiştir:

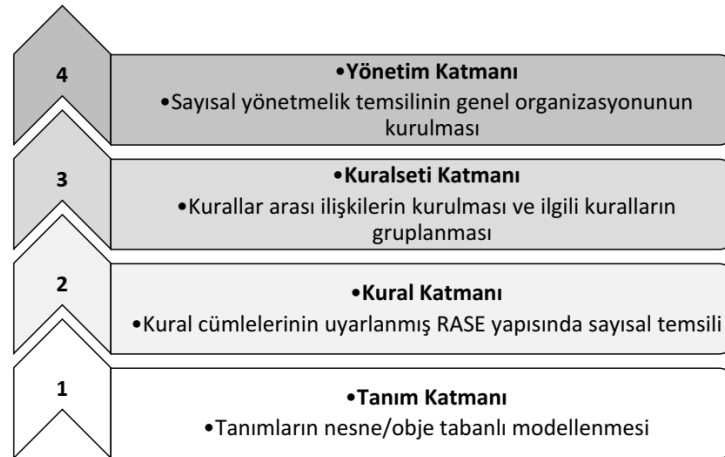
- Binaya ait duvar, zemin, tavan ve havalandırılmayan tüm bina elemanları kalıcılık derecesi 1 perm ( $5,7 \times 10^{-11} \text{ kg / Pa s m}^2$ ) veya daha az olan onaylı buhar kesiciler tarafından nemin uzaklaşmasını sağlamalıdır.

Yönetmelik maddesinin RASE biçimsel kural açıklaması şöyledir:

- Nemin uzaklaşmasına izin vermesi sağlanacaktır: {A /} tüm bina elemanları {A /}, {S /} duvarlar, zeminler {S /} ve {S /} tavanlar {S /}, {E /} havalandırılmayan {E /}, {R /} onaylı buhar kesiciler {R /}, {R /} kalıcılık derecesi 1 perm {R /}, {R /} ( $5,7 \times 10^{-11} \text{ kg / Pa s m}^2$ ) veya daha az olan buhar kesici {R /}.

Code Clause Source	ICC IECC 2006 502.5 Moisture control
Rule Description	All {A/} framed {A/S/} walls, floors {S/}, and {S/} ceilings {S/} {E/} not ventilated {E/} to allow moisture to escape shall be provided with an {R/} approved vapor retarder {R/} having {R/} a permanence rating of 1 perm {R/} ( $5.7 \times 10^{-11} \text{ kg/Pa s m}^2$ ) or less, when tested in accordance with the desiccant method using Procedure A of ASTM E 96. The vapor retarder shall be {R/} installed on the warm-in-winter side {R/} of the insulation. Exceptions: {E/} Buildings located in Climate Zones 1 through 3 {E/}. In constructions where {E/} moisture {E/} or its {E/} freezing {E/} will not damage the materials. Where there are other approved means to avoid {E/} condensation {E/} in unventilated framed wall, floor, roof, and ceiling cavities.

Şekil 15. Bir RASE biçimsel kural örneği



Şekil 16. Önerilen RASE tabanlı modelin dört katmanlı yapısı

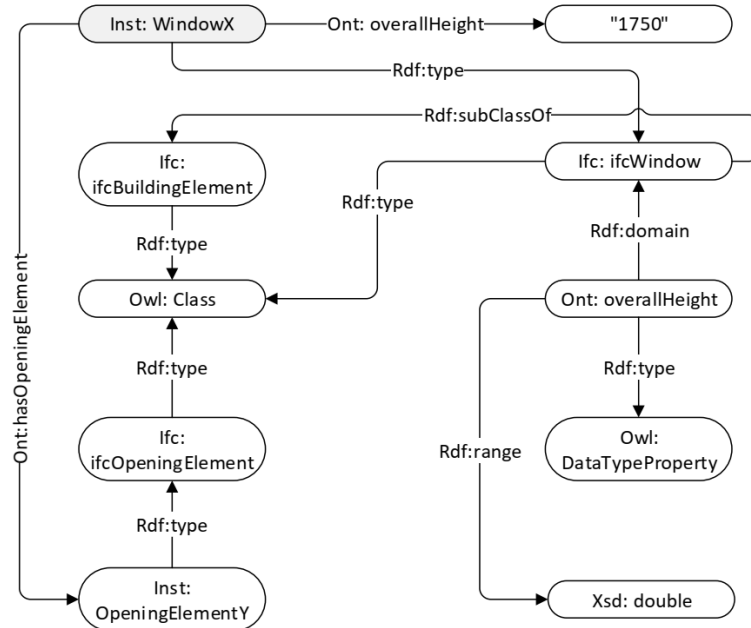
RASE biçimsel diline odaklanan bir başka çalışma ise İlal ve Günaydın tarafından (2017) yapılmıştır (Macit İlal ve Günaydın, 2017). Bu çalışmada yapılaşmaya dair yönetmeliklerin sayısal ortamda temsil edilmesini sağlamak üzere yeni bir alan bilgi gösterim modeli araştırılmıştır. RASE biçimsel dilinin bina yönetmeliklerinin sayısal temsillerinin oluşturulmasında uygulanabilirliğini test etmek amacıyla bir pilot çalışması gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma kapsamında İzmir Büyükşehir Belediyesi İmar Yönetmeliği'nin konut yapıları ile ilgili kural ifadeleri, RASE biçimsel dili esas alınarak modellenmiştir. Bu çalışmada

geliştirilen yeni bir alan bilgi gösterim modelinde RASE biçimsel dili referans alınmış, dört katmanlı modelleme yaklaşımı ile yeniden düzenlenmiştir. Şekil 16'da önerilen yeni model için dört katmandan oluşan sistematik bir yapı gösterilmiştir. Bunlar (Macit, İlal ve Günaydın, 2017):

- Tanım katmanı, bina yönetmelik metninde geçen terimleri (kavramlar, nesnelere vb.), özellikleri ve ilişkileri ile birlikte tanımlar.
- Kural katmanı, bina yönetmelik metninde yer alan kural cümlelerini kural nesnelere olarak temsil eder.
- Kuralseti katmanı, kural nesnelere arasındaki ilişkileri tanımlayarak kuralsetlerini oluşturur.
- Yönetim katmanı, kuralsetlerini sınıflandırarak yönetmeliğin genel organizasyonunu kontrol eder.

#### 2.4. Semantik Web Dilleri

Semantik web, web içeriklerinin sadece doğal diller ile değil aynı zamanda ilgili yazılımlar tarafından anlaşılabilir, yorumlanabilir ve kullanılabilir bir biçimde ifade edilmesini sağlayan bir internet eklentisi olarak karşımıza çıkmaktadır. Böylece yazılımlar aracılığıyla istenilen bilginin kolayca bulunması, bilginin paylaşılması ve bilginin birleştirilmesi semantik web ile kolayca gerçekleştirilmektedir (Walton, 2007). Semantik web yaklaşımıyla internetteki mevcut yapılandırılmamış bilgilere bağlamsal bilgiler eklenerek, düzen ve anlam kazandırılmaktadır. Web işaretlemesine yönelik bu yaklaşım etkili web kodlaması, bilgi işlemi, evrensel kullanılabilirlik, arama motoru görünürlüğü ve maksimum ekran görünürlüğünün altında yatan anahtar bir kavramdır.



Şekil 17. Pencere bina elemanının semantik web dilinde gösterimi

##### 2.4.1. Semantik web dili

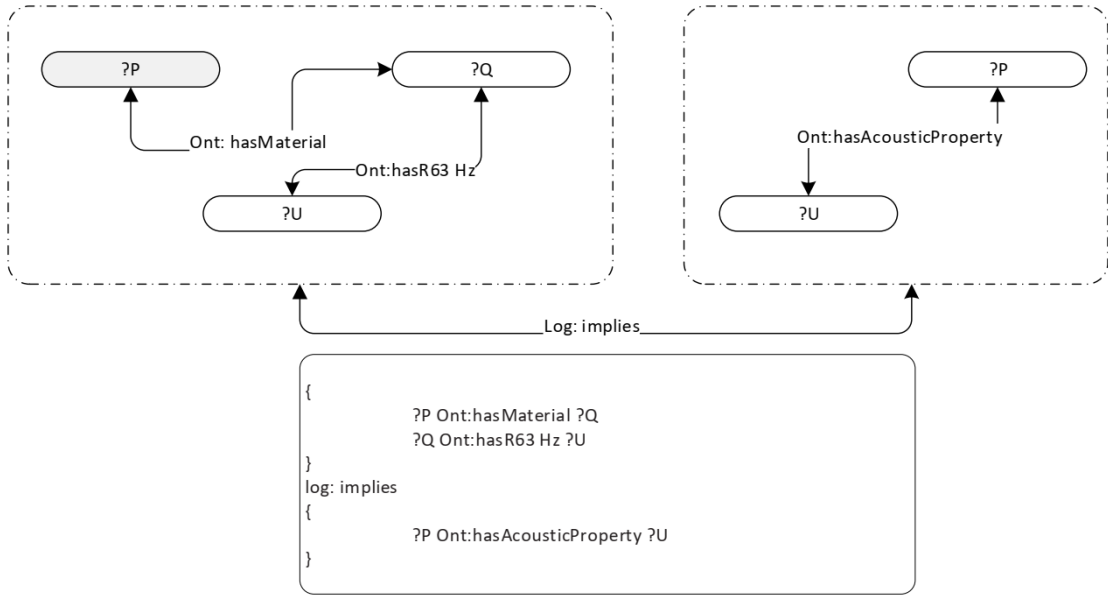
Otomatik bina yönetmelik uygunluk kontrolü için semantik web dilinin uygulandığı en erken çalışma, Pauwels ve diğerleri (2011) tarafından gerçekleştirilmiştir (Pauwels ve diğerleri, 2011). Bu çalışma, BIM modelini akustik bina yönetmeliğine göre uygunluk kontrolünü sağlamayı amaçlamıştır. Çalışmanın konsepti semantik web diline odaklanmıştır. Çünkü, semantik web diliyle kavramlar, etiketli bir grafik aracılığıyla tanımlanmıştır. Şekil 17'de gösterilen grafikte her düğüm bir kavramı veya nesneyi, her yay ise bu iki kavram veya nesne arasındaki mantıksal ilişkiyi temsil etmektedir. Her iki düğüm ve arasındaki ilişkiyi gösteren yay bir cümleyi göstermektedir. Düğümler ve yaylar aracılığıyla mantık esaslı cümlelerin bir kombinasyonu oluşturulmuştur. Daha sonra kombinasyonun mantığı, grafik üzerinden tanımlanmıştır. Semantik web dili, kural tanımlama yeteneğine sahip olsa da kural denetleme ortamında uygulanması, mantık tabanlı bir yaklaşım ile gerçekleşmektedir (Pauwels ve diğerleri, 2011).

## 2.4.2. Kaynak tanımlama çerçevesi

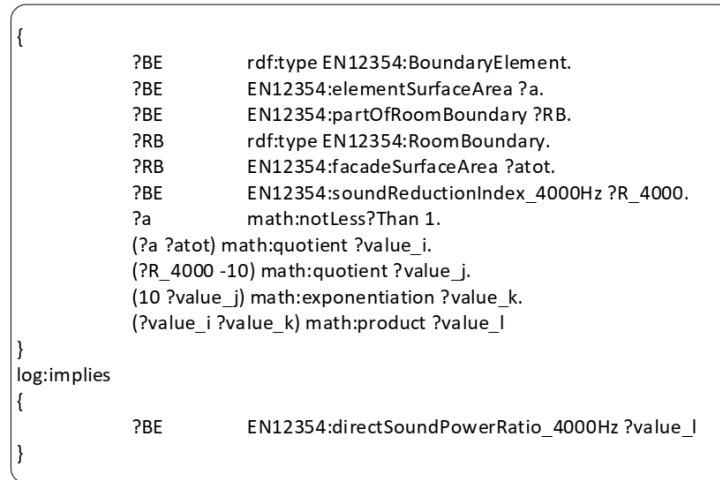
Semantik web, XML'in özelleştirilmiş etiketleme özelliğine ve RDF'in veriyi tanımlama yeteneğine dayanmaktadır. Kaynak tanımlama çerçevesi, nesnelere ve nesnelere arasındaki ilişkiler için bir veri modeli olarak tanımlanır. Bir RDF grafiği, nesnelere ilişkin ilişkileri içeren bir dizi mantıksal işlem kullanılarak oluşturulur. Bir özne, bir yüklem ve bir nesne içeren bu ifadeler RDF üçlüsü denir. Şekil 18'de örnek bir RDF üçlüsü gösterilmiştir. Bir RDF grafiğinde açıklanan her bir kavramın nesne, özne ya da yüklem olup olmadığı tanımlanmalıdır. Semantik web dilinde, ontoloji kullanılarak geliştirilmiş bir semantik yapı oluşturulabilmektedir. Bu ontolojileri tanımlamak için RDF kelimeleri kullanılır (Brickley ve diğerleri, 2014). Bu kelimeler sınıfların, alt sınıfların, yorumların, veri türlerinin ve benzerlerinin tanımlanmasına izin vermektedir. Şekil 17'de semantik web dilinde gösterilen IfcBuildingElement sınıfı, IfcWindow sınıfının bir alt sınıfı olarak gösterilmiştir.



Şekil 18. Bir RDF üçlüsü örneği



Şekil 19. N3-mantık kuralının gösterimi



Şekil 20. Varsayımsal formülün gösterimi

Pauwels ve diğerleri (2011) tarafından Akustik Performans Yönetmeliği'ne yönelik özel kuralları tanımlamak için N3-mantık kullanılmıştır (Pauwels ve diğerleri, 2011). N3-mantıktaki bir kural, genel olarak varsayımsal formülleri kapsamaktadır. Varsayımsal formülde, bir alt yazıyı tanımlamak için sözdiziminde küme parantezleri kullanılmıştır. Bir başka deyişle, Şekil 20'de gösterildiği gibi varsayımsal

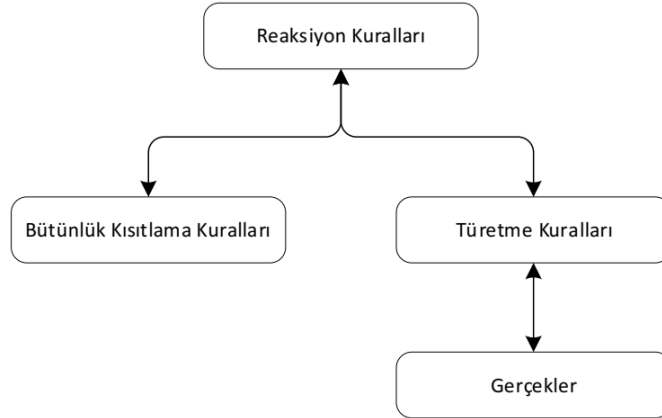
formül, küme parantezleri arasındaki ifadelerin mantıklı bir birleşimini temsil etmektedir (Berners-Lee ve diğerleri, 2008). Bir RDF üçlü ifadesinin kuralı, bir varsayımsal formülün doğru olduğunu gösterirse (if) diğer varsayımsal formülün de doğru olduğu (then) anlamı ortaya çıkmaktadır. Ayrıca, bir N3-mantık kuralında kavramlar en uygun şekilde kısaltılmıştır. Şekil 19’da N3-mantık kuralının bir örneği gösterilmiştir (Pauwels ve diğerleri, 2011). Bu kuralda, bir kavramın materyal özelliğine (Ont:hasMaterial) sahip olması (if) şartı aranmıştır. Eğer kavram bu şartı sağlıyorsa istenilen spesifik akustik performans özelliğine (Ont:hasR63Hz) de sahip olması istenmiştir.

### 2.4.3. Ontoloji web dili

Semantik web yaklaşımıyla ilişkili bir diğer önemli dil, bilgiyi sadece sunmak yerine bilginin içeriğini işlemek için gereken uygulamaların kullanılmasına imkan veren ontoloji web dilidir (OWL) (Zhang ve Issa, 2011). OWL, web içeriğinin XML ve RDF ile birlikte daha fazla yorumlanabilirliğini kolaylaştırmaktadır. Ontoloji, bir alan içindeki kavramlar kümesi ve kavramlar arasındaki ilişkilerin açıklaması olarak tanımlanmıştır. Ontolojiler, bilgisayarlar için veri bilgilerini birbirine bağlar, tüm tanımları açıklar ve tüm eş anlamlıları listelemektedir. Böylece web’teki verilere küresel bir yapı oluşturarak, verilerin birden fazla uygulama tarafından anlaşılmasını ve paylaşılmasını sağlamaktadır (Zhang ve Issa, 2011). Şekil 17’de pencere bina elemanına ait IFC özelliklerinin tanımları, açıklamaları ve kısaltmaları Şekil 21’de gösterilmiştir. Örnek OWL gösteriminde inst ile en üst sınıf tanımlanmıştır. En üst inst sınıfına bağlı OWL alt sınıfı oluşturulmuştur. IFC ile pencerenin IfcWindow özelliği, RDF ile pencerenin tipi, ont ile pencereye ait özellikler ilişkilendirilmiştir.

inst:WindowX	rdf:type	ifc:IfcWindow.
ifc:IfcWindow	rdf:type	owl:Class.
ifc:IfcWindow r	dfs:subClassOf	ifc:IfcBuildingElement
ifc:IfcBuildingElement	rdf:type	owl:Class
ont:overallHeight	rdf:type	owl:DatatypeProperty
ont:overallHeight	rdfs:domain	ifc:IfcWindow.
ont:overallHeight	rdfs:range	xsd:double

Şekil 21. IfcWindow sınıfını gösteren bir ontoloji web dili örneği



Şekil 22. Semantik web kural dilinin üç katmanlı kural hiyerarşi düzeni

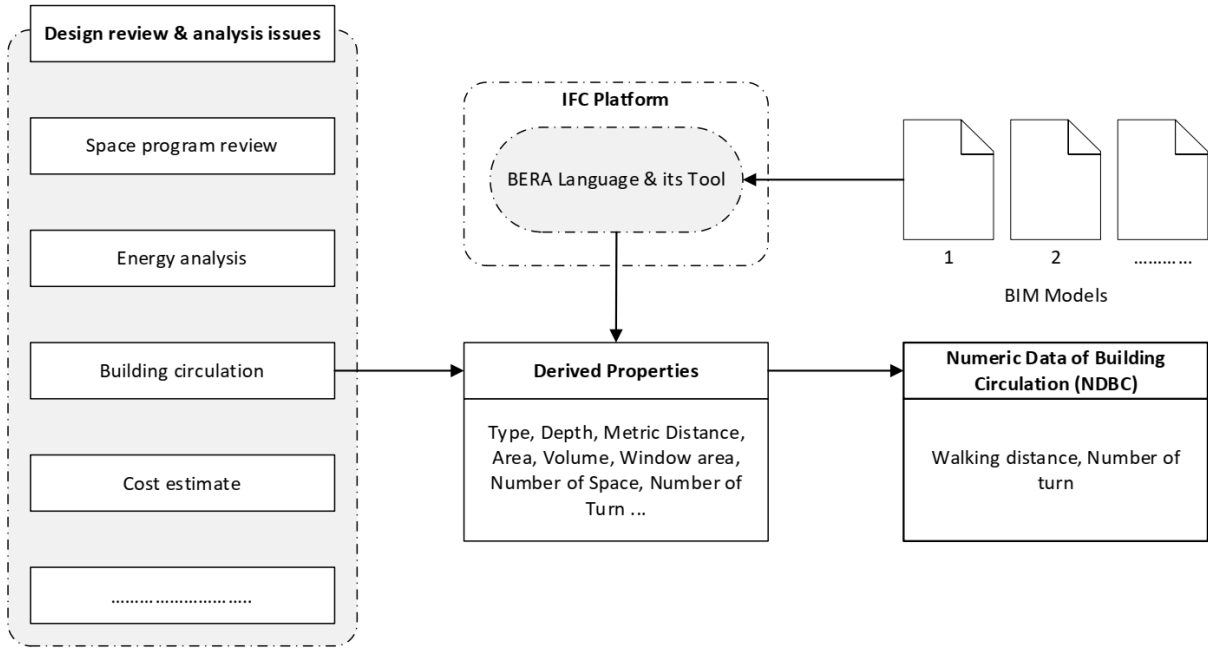
### 2.4.4. Semantik web kural dili

Semantik web kural dili (SWRL), semantik web için önerilen ontoloji web dili ile kural işaretleme dilini birleştiren bir dil olarak tanımlanmıştır (Boley, 2006). SWLR, üyeleri sektörden ve akademiden oluşan kural işaretleme girişimi tarafından 2004 yılında önerilmiştir (Horrocks ve diğerleri, 2004). SWLR, farklı kural türleri için modüler, hiyerarşik bir düzene sahiptir. SWLR, XML’de web kurallarını ifade etmek ve kural dönüşümlerini gerçekleştirmek için geliştirilmiş açık ve bağımsız bir dildir. Şekil 22’de gösterildiği gibi SWRL, üç katmanlı kural hiyerarşi düzeniyle tasarlanmıştır. Kural hiyerarşisinin birinci katmanı reaksiyon kurallarından, ikinci katmanı bütünlük kısıtlama kurallarından, üçüncü katmanı ise türetme kurallarından oluşmaktadır.

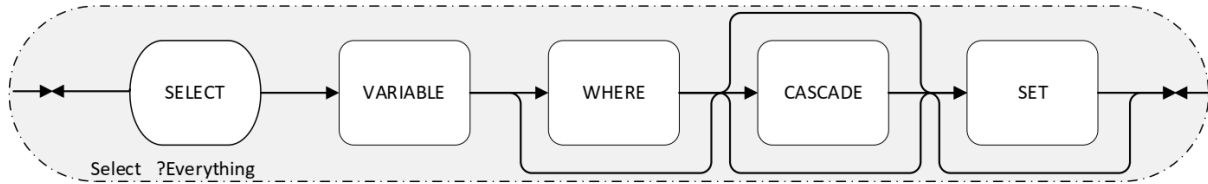


#### 2.4.5. Bina çevresi kuralı ve analizi

BIM çalışma alanının genişlemesiyle, inşaat sektöründeki bina modellerinin sorunlarını ele almak için alana özgü, özel semantik web dillerinin geliştirilmesine ihtiyaç duyulmuştur. Lee (2011) tarafından alana özgü bina çevresi kuralı ve analizi (BERA) tasarlanmış, bina restorasyonu çalışmalarında uygulanmıştır (Lee, 2011). BERA, tasarım aşamasındaki kuralları tanımlamak ve analiz etmek için BIM modellerini sezgisel bir şekilde ele almaktadır. BERA dilinin uygulaması üç aşamadan oluşmaktadır. Bu aşamalar sırasıyla kuralları tanımlamak, analiz etmek ve kontrol etmektir. Şekil 23’de konsepti gösterilen BERA, bina sirkülasyonu ve mekânsal programlama olmak üzere iki temel alana odaklanmıştır. BERA, her iki amacı gerçekleştirmek için BIM modellerini, kendine özel BERA araçları sayesinde BERA nesne modeline dönüştürmektedir. BERA nesne modeli ile kullanıcılar BIM verilerine kolayca erişim sağlamaktadır. BERA nesne modelinde sunulan nesnelere sadece bina elemanlarının türü ve sayısı ile sınırlı kalmayarak derinlik, mesafe, alan, hacim, pencere alanı, boşluk sayısı, yürüme mesafesi, dönüş sayısı vb. özellikleri elde edilmektedir.



Şekil 23. BERA'nın kurgusu



Şekil 24. BIM sorgu dili örneği

#### 2.4.6. BIM sorgu dili

Mazairac ve Beetz (2013) tarafından BIM modelleri için alana özgü, BIM tabanlı, açık bir BIM sorgu dili önerilmiştir (Mazairac ve Beetz, 2013). BIM sorgu dili, IFC içinden istenilen veriyi seçmek, güncellemek ve silmek için tasarlanmıştır. Açık kaynak kodlu model sunucu platformu olan bimservers.org için geliştirilmiş bir prototip eklentisidir. BIM sorgu dilinin amacı IFC veri modellerinden geçici kısmi veri kümelerinin oluşturulmasını sağlamaktır. BIM sorgu dilinin yapısı üç bölümden hazırlanmıştır. İlk bölümde, BIM sorgu dili için gereksinimler formüle edilmiştir. İkinci bölümde hem genel hem de alana özgü açık sorunlar belirlenmiştir. Üçüncü bölümde ise, tasarlanan BIM sorgu dili test edilmiştir. Alana özgü BIM sorgu dilinin sözdizimini ve dilbilgisini tanımlayan bir örnek Şekil 24’te gösterilmiştir. BIM sorgu dilinin özellikleri seç ve ayarla bölümleriyle sınırlandırılmıştır. Örneğin, BIM sorgu dilinde tek bir pencerenin silinmesi basit bir sorgu ile gerçekleştirilse de pencereye ait profil ve malzeme özellikleri ayrı bir sorgu ile elde edilmektedir.

#### 2.4.7. RDF sorgu dili

Bina yönetmeliklerinin kontrolü için yıllar içerisinde çeşitli sorgu dilleri oluşturulmuş ve uygulanmıştır. Gutierrez ve diğerleri (2005) tarafından yapılan çalışmada RDF grafiklerine erişim için geçici bir sorgu dili olan RDF sorgu dili önerilmiştir (Gutierrez ve diğerleri, 2005). Bu çalışmada, zamansal akıl yürütme işlemi RDF'e dahil edilerek zamansal RDF grafikleri hazırlanmıştır. RDF grafiklerine erişim için kullanıcı, RDF sorgu dili aracını kullanarak istenilen grafik verilerine erişim sağlamıştır. Şekil 25'te bir veri tabanından veri çekilmesi için girilen "2000 yılı ile şimdiki yıl arasında yüksek lisans dersi almış öğrencileri bul. Bu öğrencileri 21. yüzyıl grubuna kopyala." örnek sorgusu, RDF sorgu dili biçiminde gösterilmiştir. Bu örnek sorguda oktan önce öğrencilerin hangi gruba kopyalanacağı, oktan sonra ise kopyalanacak öğrencilerin özellikleri belirtilmiştir.

```
(?X, type, 21-century-student) ←  
(?X, takes, ?C):[?T], (?C, type, Master) : [?T], 2000 ≤ ?T, ?T ≤ Now.
```

Şekil 25. RDF sorgu dili örneği

#### 2.5. Yapay Zekâ Yöntemleri

Yapay zekâ yöntemlerinin amacı insan zekâsını, bilgisini ve algısını simüle etmektir. Bu simülasyon genellikle iki temel alana odaklanmıştır:

- Birinci alan, belirli bir veri grubundan öğrenme biçimleriyle ilişkilidir.
- İkinci alan, insanların edindiği bilgilerin kısa ve öz biçimde açıklanmasına ve yeniden kullanılmasına odaklanmıştır.

##### 2.5.1. Nöron tabanlı yapay zekâ yöntemi

Biyolojik olarak ilham alınan ilk nöron tabanlı yapay zekâ yöntemi, Frank Rosenblatt (1958) tarafından beyin hücrelerinin davranışını simüle eden çalışmada önerilmiştir (Rosenblatt, 1958). Diğer bir çalışma ise Minsky ve Papert'a (1970) ait makale çalışmasıdır (Minsky ve Papert, 1970). Bu çalışma bir nöronun birden fazla girdiyle bir çıktı üretmesi prensibine dayanmaktadır. Nöron tabanlı yapay zekâ yaklaşımının sınırlarını çizen bu çalışma, günümüze kadar güncelliğini korumaktadır.

##### 2.5.2. Kural tabanlı yapay zekâ yöntemi

Kural tabanlı yapay zekâ yöntemi, uzun yıllardır önemli araştırma alanları arasında yer almıştır. Yapay zekâ içinde ortaya çıkan soruna yönelik çözümü kendi başına bulan nöron ağlarının incelendiği kitap, Rumelhart ve McClelland (1986) tarafından yayımlanmıştır. (Rumelhart ve diğerleri, 1986). Bu kitapta nöron ağlarının belirli bir değerde, isteğe bağlı ve sonsuzluğa uzanan işlevi kendi kendine öğrenebildiği ve çözüm üretebildiği gösterilmiştir.

##### 2.5.3. Geleneksel yapay zekâ yöntemi

Geleneksel yapay zekâ yöntemlerinin çoğu Minsky ve Papert'in nöron tabanlı yapay zekâ yöntemine dayanmaktadır (Minsky ve Papert, 1970). Bu çalışmada bilgi, gerçek ve kuralın karışımı olarak tanımlanmıştır. Gerçek, veri ögesi ve değer çiftlerinden oluşmaktadır. Kural ise sistemin içinden yeni gerçeklerin çıkarılmasını sağlamaktadır. Veri ögesi veya değerinde bir değişiklik olması durumunda, sistemdeki her şey potansiyel olarak değişmektedir. Tüm değişiklikler için Rete algoritması kullanılmıştır. Değişiklik sonrası tüm kurallar ve gerçekler tekrardan yinelenerek sistem içine eklenmiştir. Her değişiklik durumunda sistem kendini tekrarlamıştır.

##### 2.5.4. İnsan dili modelleme yapay zekâ yöntemi

İnsan dili modelleme yapay zekâ yönteminde, doğal dil metinlerinden anlam çıkarmak için çeşitli doğal dil işleme algoritmaları kullanılmıştır. Doğal dil işleme algoritmaları, insan ve bilgisayar etkileşimine odaklanarak bilgisayarların bina yönetmelik metinlerinden anlam çıkarmasına ve mantık kurallarının oluşturmasına imkân vermektedir. Brown ve diğerleri (1992) tarafından yapılan çalışmada çıkarılan anlam ifadelerinin olasılık dağılımı, bir N-gram modeli olarak adlandırılmıştır. N-gram modeli, birbirine

bağlanan kelimeleri tek bir terim olarak işlenmesine dayanmaktadır. Terim oluşturmak için bir arada bulunan iki kelimenin olasılığı N-gram modeliyle tahmin edilmiştir (Brown ve diğerleri, 1992).

### 2.5.5. Metin sınıflandırma ve kategorizasyon odaklı doğal dil işleme yöntemi

Metin sınıflandırma ve kategorizasyon odaklı doğal dil işleme yöntemi, doğal dil işlemenin sözdizimsel ve anlamsal özellikleri üzerine odaklanmıştır. Bu yöntemde metin analizi, içerik kaynağını oluşturma, otomatik bina yönetmelik uygunluk kontrolü sistemi için otomatik sınıflandırma ve metin madenciliği işlemleri uygulanmıştır. Metin analizi işleminin çıktısı için varlık kavramı kullanılmıştır. Her bir varlık döşeme, zemin, giriş, kolon, duvar, pencere, kapı vb. bina elemanları olarak sınıflandırılmıştır. Bu sınıflar adlandırılıp, sıralanıp, etiketlenip, kategorize edilerek her bir sınıfa bir duyarlılık puanı verilmiştir (Nawari ve Alsaffar, 2015).

```
define Concept {
    name = "Room";
};
define Concept {
    name = "Door";
};
```

```
define Classification {
    name = "Space";
};
define Concept {
    name = "Entrance";
is_a = Space;
}
define Concept {
    name = "Room";
is_a = Space;
}
define Concept {
    name = "Kitchen";
is_a = Space;
}
define Concept {
    name = "Bathroom";
is_a = Space;
}
```

```
define Relation {
    name = "related_space";
    domain = Door;
    range = Space;
}
```

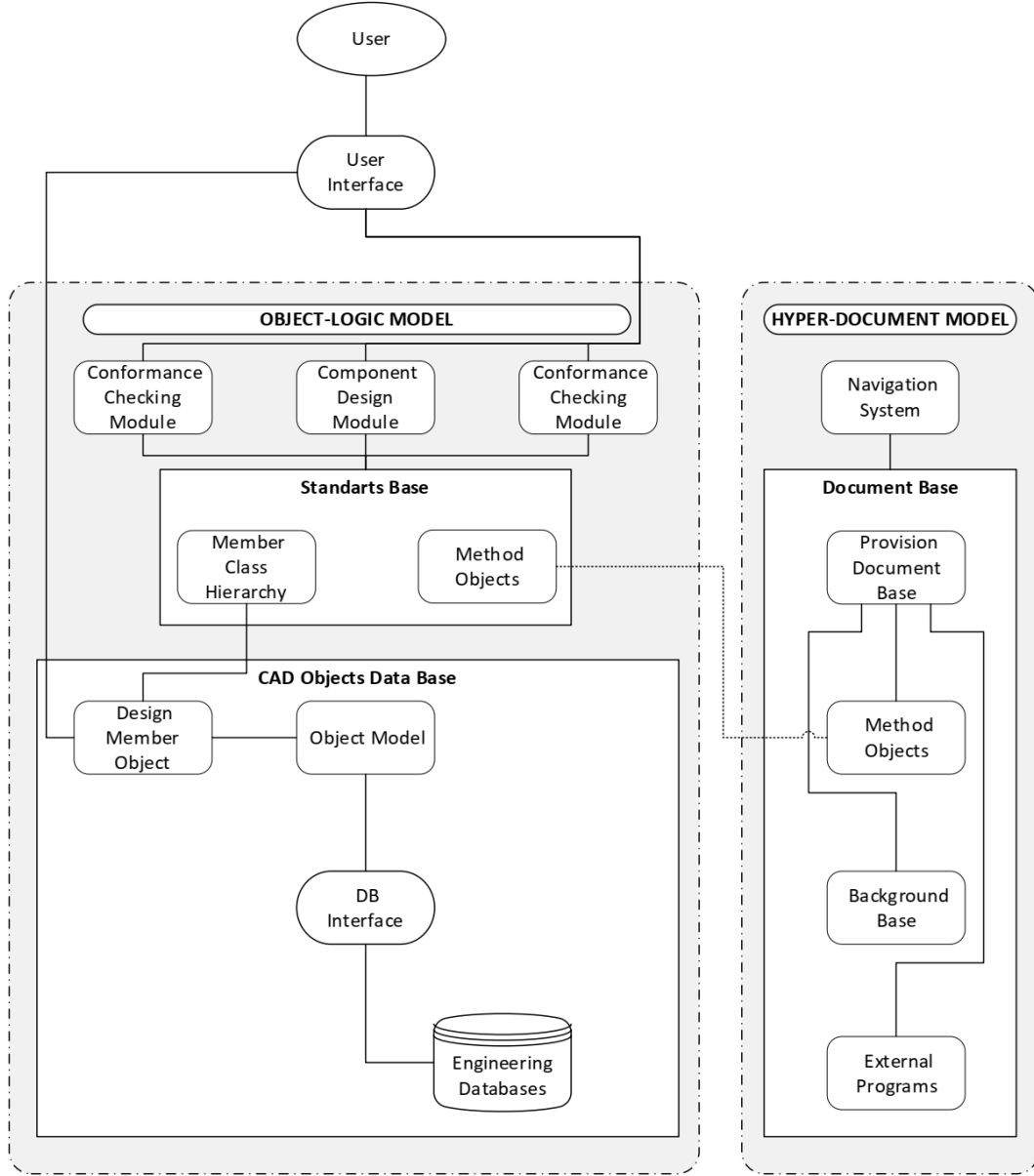
```
define Instance {
    name = "kitchenDoor";
    instance_of = "Door";
    related_space = "Kitchen";
}
```

Şekil 26. Standart işleme çerçevesinde kullanılan dört temel nesne

### 2.5.6. Alana özgü ontoloji oluşturma yöntemi

Alana özgü ontoloji oluşturma yöntemleri, doğal dil işleme algoritmaları ile alana özgü içeriğin bilgisini yakalayan, içeriğin yorumlanabilirliğini ve anlaşılabilirliğini sağlayan bir ontoloji oluşturma mantığına odaklanmıştır. Bina yönetmeliklerinin fazlalığı ve karmaşıklığı için alana özgü ontolojiler ile semantik birlikte kullanılmıştır. Doğal dil işleme algoritmalarıyla bina yönetmeliklerinden belirli kuralların çıkarılması sağlanmıştır. Kural çıkarma işleminden önce bir ara aşama kullanılmıştır. Bu ara aşama konu, öznitelik ve değer şeklinde üçlü bir semantik eleman ile sonuçlanmıştır (Zhang ve El-Gohary, 2017). Alana özgü ontoloji oluşturmak için ön işleme, özellik üretimi, çıkarılan bilgilerin analizi, kural çıkarma ve kodlamanın uygulanması aşamaları sırasıyla gerçekleştirilmiştir (Melzner ve diğerleri, 2013). Oluşturulan ontolojinin elektronik olarak erişilebilir, bilgisayar tarafından okunabilir, standart bir

formatta gösterilebilir, birlikte çalışabilir, net ve şeffaf olması hedeflenmiştir (Nawari ve Alsaffar, 2015). Bu nedenle alana özgü ontolojilerin uygulanması için bina yönetmelik danışmanları ve uzmanları sürece dâhil edilmektedir.



Şekil 27. Nesne ve mantık tabanlı yöntemin yapısı

## 2.6. Hibrit Yöntemler

Hibrit yöntemler, genellikle birden fazla bina yönetmelik gösterim yaklaşımlarının birleştirilmesiyle oluşturulmuştur. Çalışmalardan elde edilen hibrit yöntemleri aşağıdaki başlıklarda belirtilmiştir.

### 2.6.1. Bağlam odaklı nesne yöntemi

Kiliccote ve diğerleri (1994) tarafından bağlam odaklı nesne yöntemi önerilmiştir (Kiliccote ve diğerleri, 1994). Bu yöntem, nesne tabanlı yaklaşımı kullanarak bina yönetmeliğini bağlamlar çerçevesinde düzenlemiş, sınıf hiyerarşilerinin karmaşıklığını azaltmıştır. Bağlam, yönetmelik maddelerinin ilişkili olduğu sınıflandırma hiyerarşisindeki alt sınıfların toplamı olarak tanımlanmıştır. Bu bağlamlar, uygulanan maddelerin koşullu kısımlarını tanımlamak için kullanılsa da bina yönetmelik maddelerinin uygulanabilirliği için yetersiz kalmıştır. Bu eksikliğinden dolayı Kiliccote ve Garrett (1998) tarafından bağlam odaklı nesne yöntemine odaklanan, bina yönetmeliklerini temsil etmek için standart işleme çerçevesi önerilmiştir (Kiliccote ve Garrett Jr, 1998). Şekil 26'da gösterildiği gibi standart işleme çerçevesinde, bina yönetmeliklerini temsil etmek için dört temel nesne belirlenmiştir. Bunlar:

- Bina, oda, kapı vb. bina elemanlarını temsil etmek için kullanılan kavramlar,
- Birbirinden farklılık gösteren, kavramlar topluluğu olan sınıflandırmalar,
- Bir kavramla başka bir kavram arasındaki durumu tanımlayan ilişkiler,
- Fiziksel veya kavramsal olarak varlıkları temsil eden örnekler.

### 2.6.2. Nesne ve mantık tabanlı yöntem

Yabuki ve Law (1993) tarafından bina yönetmeliklerini temsil etmek için hem nesne tabanlı yaklaşımı hem de mantık tabanlı yaklaşımı birleştiren yeni bir nesne ve mantık tabanlı yöntem önerilmiştir (Yabuki ve Law, 1993). Bu yöntem bina yönetmeliğin bütünlüğünü kontrol etmek, yönetmelik maddeleri arasındaki uyumsuzlukları azaltmak ve resmi prosedürlerin iyileştirilmesini sağlamak için geliştirilmiştir. Şekil 27’de gösterilen nesne ve mantık tabanlı yöntem, iki alt model ile tasarlanmıştır. Bunlar:

- Nesne mantık modeli,
- Hiper belge modeli.

Hiper belge modeli, bina yönetmelik maddelerini oluşturmak için bir belge depolama işlevine sahiptir. Bina yönetmelik bilgisini, harici programları ve yöntem nesnelere kapsamaktadır. Nesne mantık modelinde ise bina yönetmelik maddeleri, nesne mantık cümleleri olarak bir standart veri tabanında depolanmıştır. Nesne mantık modelinin bina yönetmeliğine göre uygunluğu, uygunluk kontrol modülünde kontrol edilmiştir. Daha sonra bina yönetmelik uygunluk kontrol sonucu, standart analiz modülünde incelenmiştir.

### 2.6.3. Ontoloji tabanlı semantik yöntem

Bazı araştırmacılar tarafından bina yönetmeliklerinin bilgisayar ortamına aktarılması için ontoloji ve semantik web biçimsel dilinin birlikte kullanıldığı ontoloji tabanlı semantik yöntemi önerilmiştir. Yurchyshyna ve Zarli (2009) tarafından yapılan çalışmada bina yönetmelik metinlerinden bilgi çıkarılması, bina yönetmelik uygunluk şartlarının belirlenmesi, yönetmeliklerin sektöre özgü ontolojiler ile semantik eşlemesi ve uygunluk şartlarının otomatik bina yönetmelik uygunluk kontrolünde kullanılması için bu yöntem uygulanmıştır (Yurchyshyna ve Zarli, 2009).

## 3. Sonuç ve Öneriler

Tarihsel olarak 2000 yıl önce akıllı sınıflandırma ve doğrulama sistemlerinin geliştirilmesi ve akıl yürütme analizleri Aristoteles'in kategorilerinde tasvir edilmiştir (Sowa, 2006). Leibniz, çalışmalarıyla kendisinde ilgi uyandıran Aristoteles'in varsayımlarını otomatikleştirmek için ilk hesaplanabilir ikili sistemi geliştirmiştir. (Leibniz, 1923). 1950 yılından günümüze kadar insan dilinde yazılmış bina yönetmeliklerini incelemek için çeşitli biçimsel diller önerilmiştir. Bunlar yönetmeliklerin bazı bilgi alanlarını işlemek ve yorumlamak için yararlı olsa da yönetmeliklerin tamamını ele almak için yeterli olamamıştır. Bu eksikliğin giderilmesi için bina yönetmeliklerini bilgisayar dilinde anlaşılmasını kolaylaştıran, mantıksal uygulanabilir ifadelerle dönüştüren işaretleme dillerine ihtiyaç duyulmuştur. İşaretleme dilleri hem insan hem bilgisayar tarafından kolayca anlaşılmasını ve farklı sistemler arasında veri alışverişini sağlayan bir ara format görevi görmektedir.

Birçok bina yönetmelikleri insan dili dışında, bilgisayar ortamında işaretleme dili biçiminde temsil edilmektedir. Gelişen bilgisayar teknolojisiyle bina yönetmeliklerinin alan bilgi gösterimleri üzerine çalışmalar geliştirilmiştir. Bilgisayar dilinde internet kavramının önem kazanması, bina yönetmelik içeriklerinin sadece insan dilinde değil aynı zamanda yazılımlar tarafından da anlaşılabilir, yorumlanabilir ve kullanılabilir olmasını sağlayan semantik diller önerilmiştir. Semantik diller, yazılımların bina yönetmelik verisini kolayca bulmasını, paylaşmasını ve bilgiyi birleştirmesini sağlamaktadır. Semantik dillere ek olarak insan zekasına odaklanan yapay zekâ kavramı bina yönetmeliklerini hesaplanabilir temsilde kullanılmaya başlanmıştır. Birçok çalışma, bina yönetmelik maddelerini kolayca kurallara çevirmek ve kodlamak için uzman yapay zekâ yöntemleri üzerine odaklanmıştır. Yapay zekâ yöntemleri kullanılarak yönetmelik maddelerinden otomatik veya yarı otomatik olarak bilgi çıkarılması, kurala dönüştürülmesi ve uygulanması ile ilgili çalışmalar günümüze kadar devam etmektedir. Fakat, bina yönetmeliklerinin insan dilinde manuel olarak el ile güncellenmesi

yapay zekâ yöntemlerinin uygulanmasına engel olmaktadır. Bu yüzden birkaç farklı dillerin bir araya getirildiği ve karma olarak uygulandığı hibrit yöntemler, araştırmacılar tarafından önerilmektedir.

Günümüzde, yasal kaynaklardan veri elde eden ve güncel tutulan bina yönetmeliklerinin ve standartlarının hesaplanabilir bir temsili oluşturmak için çalışmalar devam etmektedir. Çünkü, araştırmacılar mimarlık, mühendislik ve inşaat 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 mimarlık, mühendislik ve inşaat endüstrisinde bina yönetmeliklerine ve standartlarına göre uygunluğunun otomatik veya yarı otomatik olarak kontrol edilmesini sağlayan çeşitli ulusal ve uluslararası sistemler geliştirilmektedir.

### Kısaltmalar

- AI: Artificial Intelligence (Yapay Zekâ)
- BERA: Building Environment Rule and Analysis (Bina Çevresi Kuralı ve Analizi)
- BIM: Building Information Modelling (Yapı Bilgi Modellemesi)
- BIM-QL: BIM Query Language (BIM Sorgu Dili)
- CAD: Computer Aided Design (Bilgisayar Destekli Tasarım)
- FOL: First-Order Logic (Birinci Derece Mantık)
- HTML: Hypertext Markup Language (Hiper Metin İşaretleme Dili)
- IFC: Industry Foundation Classes (Endüstri Temel Sınıfları)
- LegalRuleML: Legal Rule Markup Language (Yasal Kural İşaretleme Dili)
- LFL: Logic-based Formal Language (Mantık tabanlı Biçimsel Dili)
- NLP: Natural Language Process (Doğal Dil İşleme)
- OFL: Object-based Formal Language (Nesne tabanlı Biçimsel Dili)
- OWL: Ontology Web Language (Ontoloji Web Dili)
- RASE: Requirement, Application, Selection, and Exception (Gereksinim, Uygulama, Seçim ve İstisna Biçimsel Dili)
- RDF: Resource Description Framework (Kaynak Tanımlama Çerçevesi)
- RDF-QL: RDF Query Language (RDF Sorgu Dili)
- RFL: Rule-based Formal Language (Kural tabanlı Biçimsel Dili)
- SASE: Standards, Analysis, Synthesis, and Evaluation (Standart, Analiz, Sentez ve Değerlendirme Biçimsel Dili)
- SWL: Semantic Web Language (Semantik Web Dili)
- SWRL: Semantic Web Rule Language (Semantik Web Kural Dili)
- XML: Extensible Markup Language (Genişletilebilir İşaretleme Dili)

### Teşekkür ve Bilgi Notu

Bu makale, 09-11 Eylül 2022 tarihinde gerçekleştirilen “2. Uluslararası Mimarlık Bilimleri ve Uygulamaları Sempozyumu (2nd International Architectural Sciences and Applications Symposium, IArcSAS-2022)”da sözlü olarak sunulmuş ve sadece özeti, sempozyum kitabında yayınlanmıştır. Makalede ulusal ve uluslararası araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur. Çalışmada etik kurul izni gerekmemiştir.

### Yazar Katkısı ve Çıkar Çatışması Beyan Bilgisi

Makalede tek yazarlı olup herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

### Kaynaklar

Aydın, M. (2022a). The Data Representations of a Building Project: BIM Model, and IFC or IFCXML Data Standard. In Sayed Hemed (Ed.), Sand in Construction (pp. 96–110). Intech Europe. <https://doi.org/10.5772/intechopen.104580>

- Aydın, M. (2022b). Bina Yönetmelik Uygunluk Kontrolü Sürecinde Bina Projesine Ait Verilerin Gösterimleri. *Mimarlık Bilimleri ve Uygulamaları Dergisi (MBUD)*, 7(Özel Sayı), 1–15. <https://doi.org/10.30785/mbud.988508>
- Aydın, M. (2022c). A Review of BIM-Based Automated Code Compliance Checking: A Meta-Analysis Research. In *Automation and Control - Theories and Applications*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.101690>
- Aydın, M., ve Yaman, H. (2020). Domain Knowledge Representation Languages and Methods for Building Regulations. In *Communications in Computer and Information Science: Vol. 1188 CCIS* (pp. 101–121). [https://doi.org/10.1007/978-3-030-42852-5\\_9](https://doi.org/10.1007/978-3-030-42852-5_9)
- Berners-Lee, T., Connolly, D., Kagal, L., Scharf, Y., ve Hendler, J. (2008). N3logic: A logical framework for the world wide web. *Theory and Practice of Logic Programming*, 8(3), 249–269.
- Biagioli, C., Francesconi, E., Spinosa, P., ve Taddei, M. (2004). Xml documents within a legal domain: Standards and tools for the italian legislative environment. *International Workshop on Document Analysis Systems*, 413–424.
- Boer, A., Winkels, R., ve Vitali, F. (2008). Metalex xml and the legal knowledge interchange format. In *Computable models of the law* (pp. 21–41). Springer.
- Boley, H. (2006). The RuleML Family of Web Rule Languages. In *International Workshop on Principles and Practice of Semantic Web Reasoning* (pp. 1–17). Springer. [https://doi.org/10.1007/11853107\\_1](https://doi.org/10.1007/11853107_1)
- Brickley, D., Guha, R. V, ve McBride, B. (2014). RDF Schema 1.1. W3C Recommendation, 25, 2004–2014.
- Brown, P. F., Desouza, P. V, Mercer, R. L., Pietra, V. J. Della, ve Lai, J. C. (1992). Class-based n-gram models of natural language. *Computational Linguistics*, 18(4), 467–479.
- CORENET. (2018). CORENET e-Submission System. Construction and Real Estate Network. <https://www.corenet-ess.gov.sg/ess/>
- Cyganiak, R. (2005). A relational algebra for SPARQL. *Digital Media Systems Laboratory HP Laboratories Bristol*. HPL-2005-170, 35, 9.
- Dym, C. L., Henchey, R. P., Delis, E. A., ve Gonick, S. (1988). A knowledge-based system for automated architectural code checking. *Computer-Aided Design*, 20(3), 137–145.
- Fenves, Steven J. (1966). Tabular decision logic for structural design. *Journal of the Structural Division*, 92(6), 473–490.
- Fenves, Steven J, Wright, R. N., Stahl, F. I. ve Reed, K. A. (1987). Introduction to sase: Standards analysis, synthesis, and expression. *National Technical Information Service*, 473–490.
- Fenves, Steven Joseph, Gaylord, E. H. ve Goel, S. K. (1969). Decision table formulation of the 1969 AISC specification. *University of Illinois Engineering Experiment Station*.
- Garrett Jr, J. H. ve Hakim, M. M. (1992). Object-oriented model of engineering design standards. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 6(3), 323–347.
- Gutierrez, C., Hurtado, C. ve Vaisman, A. (2005). Temporal rdf. *European Semantic Web Conference*, 93–107.
- Hakim, M. M. ve Garrett, J. H. (1993). A description logic approach for representing engineering design standards. *Engineering with Computers*, 9(2), 108–124.
- Hjelseth, E. ve Nisbet, N. (2011). Capturing normative constraints by use of the semantic mark-up RASE methodology. *Proceedings of CIB W78-W102 Conference*, 1–10.
- Hjelseth, E. ve Nisbet, N. (2010a). Exploring semantic based model checking. *Proceedings of the 2010 27th CIB W78 International Conference*, 54.

- Hjelseth, E. ve Nisbet, N. (2010b). Overview of concepts for model checking. *Proceedings of the CIB W, 78, 2010.*
- Horrocks, I., Patel-Schneider, P. F., Boley, H., Tabet, S., Grosz, B. ve Dean, M. (2004). SWRL: A semantic web rule language combining OWL and RuleML. *W3C Member Submission, 21(79), 1–31.*
- Kiliccote, H., Garrett, J. H., Chmielenski, T. J. ve Reed, K. A. (1994). The Context–Oriented Model: An improved Modeling Approach for Representing and Processing Design Standards. *Computing in Civil Engineering, 145–152.*
- Kiliccote, H. ve Garrett Jr, J. H. (1998). Standards modeling language. *Journal of Computing in Civil Engineering, 12(3), 129–135.*
- Kumar, B. (1989). Knowledge processing for structural design.
- Lau, G. T. ve Law, K. H. (2004). An information infrastructure for comparing accessibility regulations and related information from multiple sources. *Proceedings of the 10th International Conference on Computing in Civil and Building Engineering, Weimar, Germany, June 2-4, 1–11.* [http://eil.stanford.edu/publications/gloria\\_lau/icccbe.pdf](http://eil.stanford.edu/publications/gloria_lau/icccbe.pdf)
- Lee, J. K. (2011). Building environment rule and analysis (BERA) language and its application for evaluating building circulation and spatial program [Georgia Institute of Technology]. In *Georgia Tech Theses and Dissertations.* [https://smartech.gatech.edu/bitstream/handle/1853/39482/Lee\\_Jin-Kook\\_201105\\_PhD.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://smartech.gatech.edu/bitstream/handle/1853/39482/Lee_Jin-Kook_201105_PhD.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Leibniz, G. W. (1923). 1666. *Dissertatio de arte combinatoria.* Leipzig: Johann Simon Fick and Johann Polycarp Seubold ¼ LSB VI, 1, 163–230.
- Lupo, C., Vitali, F., Francesconi, E., Palmirani, M., Winkels, R., de Maat, E., Boer, A. ve Mascellani, P. (2007). General XML format (s) for legal sources. Deliverable 3.1 of the European project for standardised transparent representation in order to extend legal accessibility (ESTRELLA). EU IST-2004-027655. <http://www.estrellaproject.org/doc>.
- Macit İlal, S. ve Günaydın, H. M. (2017). Computer representation of building codes for automated compliance checking. *Automation in Construction, 82(November), 43–58.* <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.06.018>
- Macit, S. ve Günaydın, H. M. (2015). Yapı Yönetmeliklerinin Sayısal Temsili: Yeni Bir Model. *17(2), 83–102.*
- Mazairac, W. ve Beetz, J. (2013). BIMQL–An open query language for building information models. *Advanced Engineering Informatics, 27(4), 444–456.*
- Melzner, J., Zhang, S., Teizer, J. ve Bargstädt, H.-J. (2013). A case study on automated safety compliance checking to assist fall protection design and planning in building information models. *Construction Management and Economics, 31(6), 661–674.* <https://doi.org/10.1080/01446193.2013.780662>
- Minsky, M. ve Papert, S. A. (1970). Proposal to ARPA for Research on Artificial Intelligence at MIT, 1970–1971.
- Nawari, N. O. (2012a). Automated code checking in BIM environment. *Proc. International Conference on Computing in Civil and Building Engineering.*
- Nawari, N. O. (2012b). Automating Codes Conformance. *Journal of Architectural Engineering, 18(4), 315–323.* [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)AE.1943-5568.0000049](https://doi.org/10.1061/(ASCE)AE.1943-5568.0000049)
- Nawari, N. O. ve Alsaffar, A. (2015). Understanding computable building codes. *Civil Engineering and Architecture, 3(6), 163–171.*
- Nyman, D. J., Fenves, S. J. ve Wright, R. N. (1973). Restructuring study of the AISC specification. University of Illinois Engineering Experiment Station.



- Omari, A. ve Roy, G. G. (1993). A representational scheme for design code information in an expert systems approach to building design. *Computing Systems in Engineering*, 4(2–3), 253–269.
- Palmirani, M., Governatori, G., Rotolo, A., Tabet, S., Boley, H. ve Paschke, A. (2011). LegalRuleML: XML-based rules and norms. *International Workshop on Rules and Rule Markup Languages for the Semantic Web*, 298–312.
- Pauwels, P., Van Deursen, D., Verstraeten, R., De Roo, J., De Meyer, R., Van de Walle, R. ve Van Campenhout, J. (2011). A semantic rule checking environment for building performance checking. *Automation in Construction*, 20(5), 506–518.
- Rasdorf, W. J. ve Wang, T. E. (1988). Generic design standards processing in an expert system environment. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 2(1), 68–87.
- Rosenblatt, F. (1958). The perceptron: a probabilistic model for information storage and organization in the brain. *Psychological Review*, 65(6), 386.
- Rosenman, M. A. ve Gero, J. S. (1985). Design codes as expert systems. *Computer-Aided Design*, 17(9), 399–409.
- Rumelhart, D. E., Hinton, G. E. ve McClelland, J. L. (1986). A general framework for parallel distributed processing. *Parallel Distributed Processing: Explorations in the Microstructure of Cognition*, 1(45–76), 26.
- Sartor, G., Palmirani, M., Francesconi, E. ve Biasiotti, M. A. (2011). *Legislative XML for the semantic web: principles, models, standards for document management (Vol. 4)*. Springer Science ve Business Media.
- Sowa, J. F. (2006). The challenge of knowledge soup. *Research Trends in Science, Technology and Mathematics Education*, 55–90.
- Walton, C. (2007). *Agency and the semantic web*. Oxford University Press on Demand.
- Yabuki, N. ve Law, K. H. (1993). An object-logic model for the representation and processing of design standards. *Engineering with Computers*, 9(3), 133–159.
- Yurchyshyna, A. ve Zarli, A. (2009). An ontology-based approach for formalization and semantic organization of conformance requirements in construction. *Automation in Construction*, 18(8), 1084–1098. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2009.07.008>
- Zhang, J. ve El-Gohary, N. M. (2016). Semantic NLP-Based Information Extraction from Construction Regulatory Documents for Automated Compliance Checking. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 30(2), 04015014. [https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)CP.1943-5487.0000427](https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000427)
- Zhang, J. ve El-Gohary, N. M. (2017). Integrating semantic NLP and logic reasoning into a unified system for fully-automated code checking. *Automation in Construction*, 73, 45–57. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.08.027>
- Zhang, L. ve Issa, R. R. A. (2011). IFC-based construction industry ontology and semantic web services framework. In *Computing in Civil Engineering (2011)* (pp. 657–664).

## Summary

Building regulations are written in human language, are subject to human interpretation and enforcement, and are frequently governed by local governments in the construction sector. These regulations lack clear and unambiguous language because of things like the ambiguity of the terms in the building regulation provisions, the flexibility with which they may be used, and the absence of definitions in the regulation clauses. Computerized building regulation representation studies are carried out by professionals in the construction sector to prevent this complication. Building regulations are being translated into several official languages and incorporated into current systems thanks to the efforts of specialists. The reasoning selects and applies numerous types of facts and information with varying degrees of precision. For many years, there have been several efforts made to improve the building regulations domain knowledge representations. The languages and techniques used in the domain knowledge representations of the building regulations were examined in this study. They were categorized under the following headings: Human Language, Markup Languages, Formal Languages, Semantic Web Languages, Artificial Intelligence Methods, and Hybrid Methods. The study's languages and methods were discussed in great depth.

Building codes are documents that are interpreted by humans and frequently imposed and enforced by local governments. The aforementioned documents are required, although there is confusion in the language of the regulation's articles, flexibility in applying the articles, a lack of definitions of the articles, and so on. It has a precise yet confusing language as a result of its characteristics. Construction sector specialists do computer modeling building code studies to prevent this complexity. Experts work to interpret legislation into many official languages and incorporate them into existing systems. All relevant information and data are picked and applied with varied degrees of precision through negotiation. These applications have been used in building regulations domain knowledge representations for many years, where automated building code compliance systems have been established.

The domain knowledge representation of building codes is the initial stage in the automated building code compliance checking procedure. Building codes must be represented computationally in the area information display. This is accomplished through an interpretation process in which the semantic structure of each regulation is transformed into rules utilizing specialized language tools. The rules are then combined with specialized software or programming languages, and the building code compliance control application is launched using BIM model data that allows data entry between the regulatory rules and the software. As a result, it is critical to describe building codes in a computer-readable format that permits the definition of all or part of the code information for automating the building code compliance checking process.

Figure 1 depicts a concept diagram of the building code domain knowledge representations. For a computable building code representation, a sample building code is required. Domain knowledge representation languages are used to extract regulatory text into features. Each regulatory item or text having just control conditions is categorized before the rule. To control the rules produced in accordance with the applicable building codes, automated building code compliance control systems are utilized. If the criteria of each rule are fulfilled, the next rule is skipped, and if the condition of the rule is not met, the generated rule is checked again.

Aristotle's categories show the evolution of intelligent categorization and verification systems, as well as reasoning analyses, 2000 years ago. In 1666, Leibniz created the first computable binary system to automate Aristotle's conjectures, sparking interest in his work. Since 1950, many formal languages have been developed to investigate building codes expressed in human language. While these were beneficial for digesting and comprehending certain areas of regulatory information, they were insufficient to address all of the requirements. To address this shortcoming, markup languages that convert building codes into logically relevant phrases that are easier to grasp in computer language are required. Markup languages serve as an intermediary format that is easily understood by both humans and computers, allowing data to be exchanged across systems.

In addition to human language, many building codes are expressed in electronic markup language. Studies on domain knowledge representations of building codes have been created as computer technology has advanced. The notion of the internet is becoming more important in computer language, and semantic languages are recommended to make building code contents comprehensible, interpretable, and useable not only in human language but also by software. Semantic languages make it possible for software to quickly identify, exchange, and condense building code data. Aside from semantic languages, the notion of artificial intelligence, which focuses on human intellect, has begun to be employed in the computable representation of building codes. Many studies have concentrated on expert artificial intelligence approaches for quickly translating and coding code clauses. Until now, research on the automatic or semi-automatic extraction of information from regulation articles, its translation into a rule, and its application using artificial intelligence approaches is ongoing. The manual update of building codes in human language, on the other hand, impedes the deployment of artificial intelligence approaches. As a result, researchers advocate hybrid techniques, in which multiple distinct languages are combined and used as a combination.

Currently, work is being done to develop a computable representation of building regulations and standards that receives and maintains data from legal sources. Because academics are looking for a more permanent answer to the practical calculation of standards and rules in the design, engineering, and building industries. Various national and international systems have been developed in the architecture, engineering, and construction industries as a result of BIM, which has developed with the domain knowledge representation studies of building regulations, that allow the compliance of building regulations and standards to be checked automatically or semi-automatically.