

İnşaat Sektörü'nde Bina Enformasyonu Modellemesi Kavramına Genel Bir Bakış

H. Yaman, B. İlhan

İstanbul Teknik Üniversitesi, Mimarlık Bölümü, İstanbul
yamanhak@itu.edu.tr, ilhanba@itu.edu.tr

Özet

Bina Enformasyonu Modellemesi (Building Information Modeling – BIM) kavramı, temel olarak tasarım, yapım ve yapının faaliyete geçmesi sonrası işletilmesi ve yönetilmesi için yapı üretim sürecinin, sayısal ortamda veri alış-verişine ve birlikte işlerliğe (çalışabilirliğe) olanak sağlayacak şekilde modellenmesidir.

BIM, elle ya da bilgisayar yardımıyla (koordinat-tabanlı bilgisayar yazılımları, bilgi-tabanlı sistemler veya nesneye-yönelik sistemler) yapılan çizim yöntemlerinden; yapım esnasında meydana gelebilecek uyumsuzlukların önlenmesi, proje çizimlerini gerçeğe en yakın haliyle ve zamanında tamamlamaya ve yapım ile ilgili belgeleri en hızlı ve düzgün şekilde hazırlanmaya olanak sağlaması, herhangi bir belgede yapılan değişiklikleri ilişkili diğer belgelere anında yansıtabilmesi ve tüm proje katılımcılarına aynı model üzerinde eşzamanlı çalışabilme kolaylığını sağlamasıyla ayrılmaktadır. BIM ayrıca disiplinler arası eşgüdüm eksikliğinin yol açtığı hataları önlemek için kullanıcılarına farklı bir yöntem sunmaktadır.

Sağladığı bu faydalar nedeniyle BIM ile ilgili gerek akademik gerekse uygulamaya yönelik çalışmaların günümüzde giderek arttığı görülmektedir. Bununla birlikte, söz konusu disiplinle ilgili araştırma eğilimlerinin nasıl olduğunun ve hangi alanlarda yoğunlaşıp hangi alanlarda boşluk olduğunun belirlenmesine gereksinim duyulmaktadır. Bu çalışmada, yapım sektörüne yönelik olarak BIM ile ilgili makalelerin incelenerek genel bir analizinin yapılması ve belirli bir çerçevede sınıflandırılması amaçlanmaktadır. Bu amaçla, hakemli dergilerde yayınlanmış olan makaleler; yapım sektörüne yönelik konu alanı, yapı üretim süreci içindeki yeri, çalışma düzeyi, kullanılan araç ve yöntemler, konu alanına sağladığı katkı, amaç/sonuç ilişkisi ve yazar açısından incelenmekte ve sınıflandırılmaktadır. Elde edilen bulgular neticesinde, söz konusu konu alanında geleceğe dönük olarak potansiyel çalışma alanları önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Bina Enformasyonu Modellemesi, BIM, Yapım Sektörü.

Giriş

Yapım sektöründe gelecek vaat eden en önemli gelişmelerden biri olan Bina Enformasyonu Modellemesi (BIM); yapının yaşam süresi boyunca, ilke, süreç ve

teknolojinin etkileşimiyle proje verilerinin sayısal ortamda yönetilmesine olanak sağlayan bir yöntemdir (Penttilä, 2006). BIM, daha iyi görselleştirme ve proje bütünleşmesi (integration) yanında iş birliği gereksinimi, daha kaliteli çıktuların oluşturulması, proje risklerinin azaltılması, eşgüdüm eksikliği nedeniyle oluşabilecek süre kaybı ve maliyetin en aza indirilmesi ve çevreye daha az zararlı binaların üretilmesi amaçlarıyla geliştirilmiştir.

BIM kavramı ilk olarak 1970'li yıllarda ortaya çıkmış ve akademisyenler tarafından çeşitli çalışmalarda ele alınmıştır (Eastman, 1999; Eastman ve diğerleri, 2008; Kymmell, 2008). Yapım sektöründe ve yapım ile ilgili yapılan akademik çalışmalarda tasarım ve yapım bütünleşmesinin önemi 2000'li yılların başından itibaren farkedilmekte ve BIM teknolojisinin değeri anlaşılmaktadır. Autodesk (2010), Bentley (2010) ve Graphisoft (2010) gibi bilgisayar-destekli tasarım (CAD) sağlayıcıları tarafından da desteklenerek geliştirilmesi sağlanmaktadır. BIM, yapıyı tanımlayan tüm verilerin tutulduğu bir sayısal proje veritabanı üstünden çalışmakta; tasarım, yapım ve yapım sonrası işletme süreci boyunca üretilen tüm veriler bütünleşik proje veritabanında saklanarak yönetilmekte ve daha sonraki projelerde de kullanılabilir. İki boyutlu geleneksel CAD sistemlerinden farklı olarak BIM, yapıyı oluşturan elemanları temel almakta ve onların birbirleriyle olan ilişkilerini modellemektedir. Günümüzde gittikçe karmaşıklaşan yapım ortamında, söz konusu bütünleşmenin kaçınılmaz bir zorunluluk haline geldiği de açıktır. Tasarım ve görselleştirmenin yanında, performans analizine, planlamaya, programlamaya, yapım ile ilgili belgelerin hazırlanmasına, süre ve maliyete ilişkin verilerin sağlanması konusundaki gereksinimlerden dolayı BIM, yapı üretim sürecinin temelinde yer almaya başlamıştır.

Bilgi paylaşımında en önemli iletişim kanallarından biri olan akademik yayınlar araştırma bulgularının incelendiği ve bilimsel tartışmaların gerçekleştirileceği platformlardır. Herhangi bir konu alanına yönelik yayın inceleme çalışmaları; bilimsel üretkenliği, eğilimleri, araştırma vurgularını ve araştırmacı tercihlerini yansıtan faydalı göstergelerdir. Meta-analiz çalışmaları olarak adlandırılan söz konusu çalışmalar, bilimsel araştırmalarda planlamadan yönetime kadar birçok evrenin karar verme süreçlerinde yardımcı olmaktadır (İlter ve diğerleri, 2008).

Bu çalışma, yapım sektörüne yönelik olarak BIM ile ilgili çalışmaları sergilemekte ve çalışmaların hangi yönlerden ele alındığına dair genel bir bakış açısı sunmaktadır. Bu çalışma ile konu alanı ile ilgili araştırma eğilimlerinin neler olduğu, ayrıca yakın gelecekte BIM konu alanında potansiyel çalışma alanlarının neler olabileceğinin irdelenmesi amaçlanmaktadır. Hakemli dergilerde yayınlanmış olan makaleler; yapım sektörü kapsamında çalışmanın konu alanı, yapı üretim süreci içindeki yeri, çalışma düzeyi, kullanılan araç ve yöntemler, konu alanına sağladığı katkı, amaç/sonuç ilişkisi ve yazar açısından analiz edilerek sınıflandırılmaktadır.

Araştırma Yöntemi

BIM ile ilgili çalışmalara dergilerde yayınlanan makaleler, konferanslarda sunulan bildiriler, raporlar ve tezler olmak üzere birçok kaynaktan ulaşılabilmektedir. Bu çalışma kapsamında, belirli bir akademik standardı sağlamak açısından sadece hakemli dergilerde yayınlanan makaleler ele alınmaktadır. Bu amaçla, yapım sektörü ve

enformasyon teknolojileri konu alanlarında önde gelen uluslararası hakemli yayınlar belirlenmiştir. Çalışma kapsamında incelenen makalelere; American Society of Civil Engineers (ASCE), Emerald, Engineering Village 2, Science Direct ve Informa World uluslararası yayınevlerinden ulaşılmıştır. “Building Information Modeling” ve “BIM” olarak sınırlandırılan anahtar sözcükler, makalelerin başlık ve anahtar sözcük bölümlerinde, belirlenen yayınların yer aldığı veritabanları aracılığı ile taranmıştır. 15.08.2010 tarihi itibarıyla “Building Information Modeling” kavramı başlık olarak girildiğinde 128; anahtar sözcüklerde ise 343 sonuç verirken, “BIM” sözcüğü 404 makalenin başlığında ve 790 makalenin anahtar sözcükler bölümünde geçmektedir. Elde edilen sonuçlardan yinelenen yayınlar elenerek yeniden yapılan tarama sonucunda sadece yapım sektörünü konu alan makaleler çalışma kapsamına alınmıştır. Elektrik ve mekanik tesisat sistemlerine yönelik çalışmalar ile kitap eleştirileri ve editoryaller (baş makaleler) kapsam dışında bırakılmıştır.

Herhangi bir konu alanının analizi, araştırma eğiliminin nasıl olduğu ve hangi alanlarda yoğunlaşıp hangi alanlarda boşluk olduğunun belirlenmesi amacıyla yapılan bu tür çalışmalarda, sınıflandırma yönteminin belirlenmesi büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada kullanılan meta-sınıflandırma sistemi, daha önce yapılan benzer çalışmalardan uyarlanarak oluşturulmuştur (Betts ve Lansley, 1993; İlter ve diğerleri, 2008).

Bu çalışmada kullanılan meta-sınıflandırma sistemi içerik, biçim/girdi-çıktı, amaç/sonuç ilişkisi ve yazar olmak üzere dört ana kategoriden oluşmaktadır. Her bir kategori de kendi içinde alt-kategorilere ayrılmaktadır. İçerik boyutu; alan, konu, süreç ve çalışma düzeyi olmak üzere dört alt-kategoride ele alınmakta iken biçim; çalışmalarını girdi ve çıktılar açısından incelemektedir. Amaç/sonuç ilişkisinde çalışmaların çıkış noktası, kullanılan BIM araçları ve elde edilen sonuçlar analiz edilirken, yazar boyutunda ise ülke ve kurum alt-kategorileri ele alınmaktadır. Bu çalışmada kullanılan meta-sınıflandırma sistemi Tablo 1’de görülmektedir.

Tablo 1. Meta-Sınıflandırma Sistemi

Boyut	Alt-Kategori	
İçerik*	Alan	Mimarlık, İnşaat Mühendisliği, Yapım (Building/Construction), Genel, N/A
	Konu	BIM Etkileri, BIM Faydaları, BIM Benimsenmesi, İletişim, İş Birliği, Elektronik Veri Alış-verişi, Birlikte İşlerlik, Bütünleşme, Eşgüdüm
	Süreç	Planlama, Tasarım, İhale, Yapım, İşletme, Kullanım, Tüm Yapı Üretim Süreci, N/A
	Çalışma Düzeyi	Sektör, Firma, Proje, Ürün
Biçim/Girdi-Çıktı*	Araç/Yöntem	Kuramsal, Uygulamaya Yönelik, Vaka Etüdü (Case Study), Anket, Karşılıklı Görüşme
	Katkı	Genel değerlendirme, Model Oluşturma, İstatistiksel Sonuç, Sistem Geliştirme
Amaç/Sonuç İlişkisi	Çıkış Noktası	
	BIM Araçları	Modül Ekleme, Ortak Dosya Kullanımı, Yazılım Geliştirme, Yazılım Kullanımı
	Sonuç	
Yazar	Ülke**	Yazarın bağlı olduğu kurumun bulunduğu ülke
	Kurum	Üniversite, Kamu Kurumu, Özel Sektör Firmaları

* Betts ve Lansley’den uyarlanmıştır (1993).

**İlter ve diğerlerinden uyarlanmıştır (2008).

Meta-sınıflandırma sisteminde ilk olarak; çalışmanın yapım sektörü kapsamında hangi profesyonel alana yönelik olarak yapıldığına dönük incelemedir. Alan analizi, ilgili konu alanında profesyonel bir sınır belirlemektedir. Yapım sektörüne yönelik olarak içerik açısından ikinci inceleme alt-kategorisi; çalışmanın hangi alt konu alanları esas alınarak gerçekleştirildiğini tanımlayan bir takım terimler dizisidir. Söz konusu alt-kategori, herhangi bir disipline ilişkin bilgi kütüğüne (body of knowledge) ulaşmada en önemli araçlardan biri olarak kabul edilmektedir (Betts ve Lansley, 1993). Üçüncü alt-kategoride, çalışmanın yapı üretim süreci içinde hangi evreye yönelik olarak yapıldığı analiz edilmektedir. Son olarak, çalışmanın yapım sektöründe hangi düzeye uygulandığı/uygulanabileceği belirlenmektedir. Proje-bazlı bir sektör olan yapım sektöründe proje düzeyi baskın düzey olmasına karşın sektör, firma ve ürün düzeyleri de diğer alternatif düzeyler olarak karşımıza çıkmaktadır. Araştırmada kullanılan araç ve yöntemler ile araştırmanın konu alanına sağladığı katkı ikinci ana kategori olan biçim/girdi-çıkı boyutunda ele alınmaktadır. Amaç/sonuç ilişkisinde ilk olarak; çalışmalara hangi amaçla başlandığının belirlenmesi için çalışmaların çıkış noktaları incelenmektedir. Daha sonra, söz konusu çalışmayı gerçekleştirmek için kullanılan BIM araçları ile elde edilen sonuçlar ele alınmaktadır.

Yazar boyutunda ise, ülke ve kurum alt-kategorileri incelenmektedir. Ülke; yazarın bağlı olduğu kurumun bulunduğu ülke, bir başka deyişle araştırmanın gerçekleştirildiği ülke olarak ele alınırken; kurum alt-kategorisinde ise, yazarın bağlı olduğu kurum türü incelenmektedir. Böylece hangi ülkelerin BIM alanına hangi düzeyde katkıda bulduklarının basit bir göstergesi elde edilebileceği düşünülmektedir.

Analiz ve Sonuçlar

Analiz sonuçları, yapım sektörüne yönelik olarak belirlenen sınırlamalar kapsamında, 2010 yılı ilk iki çeyreğine değin BIM ile ilgili yayınlanan 40 adet makale olduğunu göstermektedir. Yayınevi/Veritabanı ve yıllara göre sayılar Tablo 2’de görülmektedir.

Tablo 2. Yayınevi/Veritabanı ve Yıllara Göre Analiz Sonuçları

Yayınevi/Veritabanı	2004	2005	2006	2008	2009	2010*	Toplam
ASCE				1	1	5	7
Emerald	1			1	1		3
Engineering Village 2		1		5	5	2	13
Informa World					1		1
Science Direct			1	5	4	6	16
Toplam	1	1	1	12	12	13	40

*2010 yılı ilk iki çeyreği kapsamaktadır.

Herhangi bir zaman kısıtlanması olmaksızın yapılan literatür taraması, 2004 yılından itibaren söz konusu alanda akademik çalışmaların başladığını göstermektedir. Bununla beraber, yayınlanan makale sayılarının yıllara göre dağılımının son yıllarda azımsanmayacak bir oranda arttığı Tablo 2’de görülmektedir. En çok makalenin yayınlandığı yıl 2008 iken, onu sırasıyla 2010 ve 2009 yılları izlemektedir. 2010 yılına ait makalelerin sadece ilk iki çeyreği kapsamı nedeniyle, 2010 yılı sonunda söz konusu değerin artacağı unutulmamalıdır. Dikkat çeken bir diğer nokta ise, 2007 yılında

belirlenen ölçütlerde herhangi bir çalışmanın yer almamasıdır. Söz konusu durum, 2007 yılından önceki çalışmaların yüzeysel ve işlevselliğinin az olması ile ve 2007 yılından sonra Autodesk Revit ve benzeri BIM yazılımlarının kullanımının yaygınlaşmasıyla yorumlanabilmektedir. Yayınladıkları makale sayısı bakımından yayinevleri/veritabanları incelendiğinde; Engineering Village 2 ve Science Direct yayinevlerinin diğerlerine oranla daha çok makale yayınladığı görülmektedir. Onları sırasıyla ASCE, Emerald ve Informa World izlemektedir. Elde edilen 40 makale 14 farklı hakemli dergi tarafından yayınlanmıştır. ITCon ve Automation in Construction dergilerinde sırasıyla 13 ve 11 olmak üzere, toplam 24 makale yayınlanmıştır. Tsinghua Science and Technology ise yayınladığı 4 makale ile onları takip etmektedir. Diğer dergilerde ise bu sayı azalmaktadır.

Meta-sınıflandırma sistemine göre yapılan analiz sonucu elde edilen bulgular, Tablo 3 ve Tablo 4'te görülmektedir. Analiz sonuçları Tablo 3'de içerik ve biçim/girdi-çıkı boyutlarına, Tablo 4'te ise amaç/sonuç ilişkisi ve yazar boyutlarına göre sınıflandırılmaktadır.

İçerik

Çalışmalar içerik boyutunda alan, konu, süreç ve çalışma düzeyi alt-kategorilerinde ele alınmaktadır. Amaç alt-kategorisinde, çalışmaların yapım sektöründe ilgili oldukları profesyonel alanlar belirlenmektedir. Profesyonel alanlar açısından çalışmalar, Mimarlık, İnşaat Mühendisliği, Yapım (Building/Construction) ve Genel olarak gruplandırılmaktadır. Yapım, Building ve Construction olarak belirtilen alanları içerirken Genel başlığı Mimarlık, Mühendislik ve Yapım (Architectural, Engineering and Construction – AEC) ile Mimarlık, Mühendislik, Yapım ve İşletme (Architectural, Engineering, Construction and Operation – AECO) alanlarını kapsamaktadır. İncelenen makalelerden 25 tanesinin genel; 10 tanesinin ise yapım alanına yönelik çalışmalar olduğu görülmektedir.

Konu alt-kategorisinde; çalışmalarda BIM'in hangi yönünün kullanıldığı ve BIM'in hangi perspektifte ele alındığı analiz edilmektedir. Söz konusu alt-kategori her bir makaleye özgü olmasına karşın, makale içeriklerine göre BIM'in Etkileri, BIM'in Faydaları, BIM'in Benimsenmesi, Birlikte İşlerlik (Interoperability), İş Birliği (Cooperation), Bütünleşme (Integration), Elektronik Veri Alış-verişi (EDI), İletişim (Communication) ve Eşgüdüm (Coordination) olarak gruplandırılmaktadır. Buna göre, 15 makalede BIM'in farklı konulardaki etkileri incelenmektedir. Elektronik veri-alış verişi, bütünleşme, birlikte işlerlik, BIM benimsenmesi ve BIM faydaları ise diğer öne çıkan konu başlıklarıdır.

Süreç alt-kategorisinde çalışmaların, yapı üretim süreci içinde hangi evreye yönelik olarak yapıldığı analiz edilmektedir. Bir kaç makale dışında, çalışmaların hangi yapı üretim sürecini ilgilendirdiği belirtilmektedir. Geleneksel yapı üretim süreci dikkate alındığında, en basit anlamda planlama, tasarım, ihale, yapım, işletme ve kullanım olarak sıralayabileceğimiz evrelerin tümüne yönelik olarak yapılan makale sayısı dikkatleri çekmektedir. 40 makaleden 17 tanesi tüm sürece yönelik iken, 13 tanesi tasarım sürecini, 4 tanesi ise yapım sürecini ilgilendirmektedir. Bunların dışında, tasarım ve yapım süreçlerinin her ikisini de içeren çalışmalar mevcuttur. Bu sonuç, bütünleşme, iş birliği ve eşgüdüm ile ilgili çalışmaların ağırlıkta olmasını açıklamamıza yardımcı olmaktadır. Ayrıca, tasarım evresine yönelik olarak hazırlanmış olan 13

makale, tasarım aşamasında alınan kararların maliyet, süre ve kalite açısından tüm süreci etkilediği gerçeğinden hareketle, tasarım evresine yönelik BIM çalışmalarının önemini vurgulamaktadır.

Son alt-kategori olan çalışma düzeyinde ise; makalelerin hangi düzeyde ele alındığı incelenmektedir. Sektör, firma, proje ve ürün olmak üzere dört ana düzeyde incelenen çalışma düzeyinde; makalelerin büyük bir çoğunluğunun proje düzeyinde ele alındığı görülmektedir. Daha sonra sırasıyla, sektör ve firma düzeyinde yapılan çalışmalar gelmektedir. Ürün düzeyinde yapılan sadece iki çalışma bulunurken, hem firma hem proje veya hem proje hem ürün düzeylerini ilgilendiren çalışmalar da söz konusudur.

Biçim/Girdi-Çıktı

Meta-sınıflandırma sisteminin ikinci boyutu olan Biçim/Girdi-Çıktı'da; makaleler öncelikle kullandıkları araç/yönteme göre değerlendirilmektedir. Bu bağlamda; makaleler; kuramsal, uygulamaya yönelik, vaka etüdü (case study), anket, karşılıklı görüşme veya söz konusu yöntemlerin bir veya bir kaçının birleşimi sonucu çoklu yöntem açılarından ele alınmaktadır. Analiz sonucu elde edilen bulgular göstermektedir ki, vaka etüdü en çok kullanılan yöntemdir. Bununla birlikte, uygulamaya yönelik çalışmalar da BIM ile ilgili makalelerde önemli bir yer tutmaktadır.

İncelenen 40 makaleden 16'sının vaka etüdü çalışması, 12 tanesinin de uygulamaya yönelik olduğu görülmektedir. Anket ve karşılıklı görüşme gibi araştırma yöntemlerinin ise, genellikle BIM'in etkilerini ölçme, faydalarını anlama ve BIM kullanımını engelleyen faktörleri belirleme amacı güden çalışmalarda kullanıldığı görülmektedir.

Biçim/Girdi-Çıktı boyutunda ikinci alt-kategoride, makaleler ürettikleri çıktı bakımından incelenmektedir. Konu alanına sağladıkları katkı; genel değerlendirme, model oluşturma, istatistiksel sonuç ve sistem geliştirme olarak belirlenen ölçütlere göre değerlendirilmektedir. 15 makale genel bir değerlendirme sunarken, 15 makalede yeni bir model oluşturulduğu görülmektedir. Yedi makalede istatistiksel sonuçlara ulaşırlarken, sadece 3 makale sistem geliştirme çalışması olarak görülmektedir.

Amaç/Sonuç İlişkisi

Meta-sınıflandırma sisteminin Amaç/Sonuç İlişkisi boyutunda, ilk olarak çalışmaların ortaya çıkmasına neden olan faktörler incelenmektedir. Çıkış noktası olarak adlandırılan alt-kategoride öne çıkan faktörler; yeni teknolojilerin gelişimi, BIM'in sunduğu fırsatlar, 3 boyutlu model gereksinimi, iş birliği, bütünleşme, elektronik veri-alışverişi ve birlikte işlerliğin sağladığı faydalar ile ortaya çıkardığı zorluklardır. Çalışmada belirlenen amaca ulaşabilmek için BIM'in araç olarak nasıl kullanıldığı ikinci alt-kategori olarak ele alınmaktadır. BIM araçları ortak dosya kullanımı, yazılım kullanımı, yazılım geliştirme ve varolan bir yazılıma modül ekleme olarak sınıflandırılabilir. Söz konusu BIM araçlarından, ortak dosya kullanımı ile yazılım kullanımı, sırasıyla 8 ve 9 makalede kullanılarak en çok yararlanan araçlar olarak karşımıza çıkmaktadır. 5 makalede yazılım geliştirilirken, 2 makalede mevcut BIM araçları üzerine modül eklenmektedir. Kalan 16 makalede ise herhangi bir araç kullanılmamaktadır. Sonuç alt-kategorisinde ise, her bir makalenin hangi sonuçlara ulaştığı saptanmaktadır. Yapım projelerinde performansı artırmak için BIM kullanımı

gerekliliği, BIM'in önemi, faydaları, yapım sektöründe BIM kullanımını etkileyen faktörler elde edilen sonuçlar arasındadır.

Yazar

Yazar boyutu, meta-sınıflandırma sisteminin son boyutu olarak ele alınmaktadır. Bu bağlamda, makale yazarı/ları ülkeleri ve bağlı buldukları kurum açılarından incelenmektedir. Ülke alt-kategorisinde; araştırmanın gerçekleştiği ülke, bir başka ifadeyle, yazarın bağlı olduğu kurumun bulunduğu ülke ele alınırken; kurum alt-kategorisi ile yazar, bağlı olduğu kurum açısından değerlendirilmektedir.

Tablo 3. Meta-sınıflandırma Sistemine Göre Yapılan Analiz Sonuçları – İçerik ve Biçim Boyutuna Göre

#	Yazar/ Yazarlar	İçerik				Biçim/Girdi-Çıktı	
		Alan	Konu	Süreç	Çalışma Düzeyi	Araç/Yöntem	Katkı
1	Fox ve diğerleri (2010)	Genel	İletişim	Tüm Yapı Üretim Süreci	Proje/Firma	Karşılıklı Görüşme/ Uygulamaya Yönelik	Genel Değerlendirme
2	Eastman ve diğerleri (2010)	Mimarlık	Birlikte İşlerlik- Standardizasyon	Tasarım	Ürün	Uygulamaya Yönelik	Model Oluşturma
3	Sacks ve diğerleri (2010)	Yapım	İş Birliği- Yalın İnşaat-BIM Etkileşimi	Tüm Yapı Üretim Süreci	Sektör	Anket	Model Oluşturma
4	Goedert ve Meadati (2008)	Yapım	BIM Etkileri-Dokümantasyon/ BIM'in Yapım Sürecine Dahil Edilmesi	Yapım	Proje	Vaka Etüdü	Model Oluşturma
5	Taylor ve Bernstein (2009)	Genel	BIM Faydaları- Inovasyon/BIM Uygulamalarının Gelişimi	Yapım	Firma	Vaka Etüdü/Karşılıklı Görüşme	Genel Değerlendirme/ İstatistiksel Sonuçlar
6	Becerik-Gerber ve Kensek (2010)	Genel	BIM Etkileri- Araştırma Eğilimleri Olası BIM Etkileri	N/A	Sektör	Anket/Karşılıklı Görüşme	Genel Değerlendirme
7	Sacks ve Barak (2010)	İnşaat Mühendisliği	BIM Etkileri- Mühendislik Eğitimi ve BIM	N/A	Sektör	Kuramsal	Genel Değerlendirme
8	Wu ve diğerleri (2004)	Yapım	Veri Alış-verişi- Bina Erişebilirliği	Tasarım	Sektör	Uygulamaya Yönelik	Model Oluşturma
9	Aranda-Mena ve diğerleri (2009)	Genel	BIM Benimsenmesi- Sürükleyici Nedenler	Tasarım/Yapım	Firma	Vaka Etüdü	Genel Değerlendirme
10	Arayıcı (2008)	Genel	BIM Etkileri- Mevcut Yapılar için BIM Kullanımı	Tüm Yapı Üretim Süreci	Proje	Vaka Etüdü	Genel Değerlendirme
11	Tao-chiu ve diğerleri (2005)	Genel	BIM Benimsenmesi	Tasarım	Firma	Anket	Genel Değerlendirme/ İstatistiksel Sonuçlar
12	Manning ve Messner (2008)	Genel	BIM Faydaları	Tüm Yapı Üretim Süreci	Proje	Vaka Etüdü	Genel Değerlendirme

#	Yazar/ Yazarlar	İçerik				Biçim/Girdi-Çıktı	
		Alan	Konu	Süreç	Çalışma Düzeyi	Araç/Yöntem	Katkı
13	Ku ve diğerleri (2008)	Genel	İş Birliği	Tasarım/Yapım	Proje	Vaka Etüdü	Genel Değerlendirme
14	Leicht ve Messner (2008)	Genel	Eşgüdüm	Tasarım	Proje	Vaka Etüdü	Model Oluşturma
15	Kaner ve diğerleri (2008)	İnşaat Mühendisliği	BIM Benimsenmesi	Tasarım	Firma	Vaka Etüdü	Genel Değerlendirme
16	Pazlar ve Turk (2008)	Genel	Elektronik Veri Alış-verişi	Tasarım	Proje/Ürün	Uygulamaya Yönelik	Genel Değerlendirme/ İstatistiksel Sonuçlar
17	Motamedi ve Hammad (2009)	Genel	İş Birliği	Tüm Yapı Üretim Süreci	Proje	Vaka Etüdü	Model Oluşturma
18	Ku ve Pollalis (2009)	Genel	BIM Faydaları- Sözleşme Koşulları ile Geometri Kontrolü için BIM	Tasarım/Yapım	Proje	Vaka Etüdü	Genel Değerlendirme
19	Björk (2009)	Genel	BIM Etkileri	Tüm Yapı Üretim Süreci	Proje	Vaka Etüdü	Genel Değerlendirme
20	Suermann ve Issa (2009)	Genel	BIM Etkileri	Yapım	Sektör	Anket	Genel Değerlendirme/ İstatistiksel Sonuçlar
21	Nour (2009)	Genel	İş Birliği- Bütünleşme	Tüm Yapı Üretim Süreci	Proje	Vaka Etüdü	Genel Değerlendirme/ İstatistiksel Sonuçlar
22	Becerik-Gerber ve Rice (2010)	Yapım	BIM Etkileri	Tüm Yapı Üretim Süreci	Proje	Anket	Genel Değerlendirme/ İstatistiksel Sonuçlar
23	Shen ve Issa (2010)	Genel	BIM Etkileri- Maliyet Tahmini için BIM	Tasarım	Proje	Uygulamaya Yönelik	Genel Değerlendirme/ İstatistiksel Sonuçlar
24	Azhar ve Brown (2009)	Genel	BIM Etkileri- Sürdürülebilir Tasarım için BIM	Tasarım	Firma	Anket/Karşılıklı Görüşme/Vaka Etüdü	Genel Değerlendirme/ İstatistiksel Sonuçlar
25	Babič ve diğerleri (2010)	Genel	Bütünleşme- ERP-CAD Bütünleşmesinde BIM Kullanımı	Tüm Yapı Üretim Süreci	Proje	Uygulamaya Yönelik	Sistem Geliştirme
26	Moum (2010)	Genel	BIM Faydaları- 3 Boyutlu Nesne Kullanımı	Tasarım	Proje	Vaka Etüdü	Genel Değerlendirme

#	Yazar/ Yazarlar	İçerik				Biçim/Girdi-Çıktı	
		Alan	Konu	Süreç	Çalışma Düzeyi	Araç/Yöntem	Katkı
27	Eastman ve diğerleri (2009)	Yapım	BIM Etkileri- Tasarım Kurallarının Kontrolü/Tasarım Değerlendirme	Tasarım	Proje	Anket	Genel Değerlendirme
28	Fu ve diğerleri (2006)	Genel	BIM Etkileri- 3 Boyuttan nD Modellemeye Geçiş	Tüm Yapı Üretim Süreci	Sektör	Uygulamaya Yönelik	Model Oluşturma
29	Jardim-Goncalves ve Grilo (2010)	Yapım	Bütünleşme Kolay Bilgi Erişimi	Tüm Yapı Üretim Süreci	Sektör	Uygulamaya Yönelik	Model Oluşturma
30	Vanlande ve diğerleri (2008)	Genel	Elektronik Veri Alış-verişi	Tüm Yapı Üretim Süreci	Proje	Uygulamaya Yönelik	Sistem Geliştirme
31	Sacks ve diğerleri (2010)	Mimarlık	Birlikte İşlerlik- Elektronik Veri Alış-verişi	Tasarım	Proje	Vaka Etüdü	Model Oluşturma
32	Succar ve diğerleri (2009)	Genel	BIM Etkileri- BIM Varlık Felsefesi/ Gerçekleştirme Aşamaları	Tüm Yapı Üretim Süreci	Sektör	Uygulamaya Yönelik	Model Oluşturma
33	Grilo ve Jardim-Goncalves (2010)	Genel	Birlikte İşlerlik	Tüm Yapı Üretim Süreci	Proje/Firma	Kuramsal	Model Oluşturma
34	Jeong ve diğerleri (2009)	Mimarlık	Elektronik Veri Alış-verişi- Kıyaslama/Test Etme	Tasarım	Ürün	Uygulamaya Yönelik	Model Oluşturma
35	Linderoth (2010)	Genel	BIM Benimsenmesi- BIM Kullanımı	Yapım	Firma	Vaka Etüdü	Genel Değerlendirme
36	Rezgui ve diğerleri (2009)	Yapım	Bütünleşme	Tüm Yapı Üretim Süreci	Sektör	Vaka Etüdü	Genel Değerlendirme
37	Ma ve Zhao (2008)	Yapım	BIM Etkileri- Enerji Etkin Tasarım için BIM	Tasarım	Sektör	Kuramsal	Model Oluşturma
38	Rueppel ve Stuebbe (2008)	Yapım	BIM Etkileri- Acil Kaçış Sistemleri için BIM	N/A	Sektör	Kuramsal	Sistem Geliştirme
39	Li ve diğerleri (2008)	Yapım	BIM Etkileri- Lazer Tarama ile Eski Binaların Yenilenmesinde BIM	Tüm Yapı Üretim Süreci	Sektör	Uygulamaya Yönelik	Model Oluşturma
40	Hu ve diğerleri (2008)	Genel	Elektronik Veri Alış-verişi- Güvenlik Analizi için BIM	Tüm Yapı Üretim Süreci	Sektör	Uygulamaya Yönelik	Model Oluşturma

Tablo 4. Meta-sınıflandırma Sistemine Göre Yapılan Analiz Sonuçları – Amaç/Sonuç İlişkisi ve Yazar Boyutuna Göre

#	Yazar/ Yazarlar	Amaç/Sonuç İlişkisi			Yazar	
		Çıkış Noktası	BIM Araçları	Sonuç	Ülke	Kurum
1	Fox ve diğerleri (2010)	İletişim Araçları için Yeni Teknolojilerin Gelişmesi	Ortak Dosya Kullanımı	Etkin İletişim Planlama için Yeni Araçların Gerekliliği	Finlandiya	Üniversite
2	Eastman ve diğerleri (2010)	Mevcut BIM Araçlarında Tam Birlikte İşlerlikteki Eksiklikler	Ortak Dosya Kullanımı	Doğru Kullanım Gereklilikleri	ABD	Üniversite
3	Sacks ve diğerleri (2010)	Yalın İnşaat-BIM Sinerjisi ile Yapım Süreçlerini Geliştirmek	-	Yalın İnşaat-BIM Etkileşiminin Faydaları	İsrail	Üniversite
4	Goedert ve Meadati (2008)	BIM'in Yapım Süreci boyunca Veri Elde Etmede Kısıtlı Kullanımı	Modül Ekleme	BIM'in Yapım Sürecinde Potansiyel Avantajları	ABD	Üniversite
5	Taylor ve Bernstein (2009)	Teknolojik Yeniliklerin Avantajları	-	Organizasyon İçi Uygulamaların Gerekliliği	ABD	Üniversite
6	Becerik-Gerber ve Kensek (2010)	Teknolojik Değişimlerin ve Karmaşık Problemlerin Multidisiplin Çözümleri Gerektirmesi	-	Araştırma Konusu olarak BIM'in Önemi	ABD	Üniversite
7	Sacks ve Barak (2010)	BIM Teknolojisini Bilen Yetişmiş Eleman Eksikliği	-	BIM'in CAD'in Uzantısı Olmadan Başlı Başına Öğretilmesi	İsrail	Üniversite
8	Wu ve diğerleri (2004)	Mevcut Boşluk Analizi-Çizim Programlarında Otomatik Veri Alış-verişi Zorlukları	Yazılım Geliştirme	IFC-tabanlı Bina Enformasyonu Modelinin Mevcut Boşluk Analiz Teknikleri ile Kullanılabilirliği	İngiltere	Üniversite
9	Aranda-Mena ve diğerleri (2009)	BIM'in Geleneksel Yöntemlerle Rekabet Edebilmesi	-	BIM'in Sağladığı Faydalar	Avustralya	Üniversite
10	Arayıcı (2008)	Yeni Teknolojilerin Gelişimi	Yazılım Geliştirme	3 Boyutlu Lazer Tarayıcılar ile Elde Edilen Verilerin Modellenmesi Koşuluyla BIM'in Mevcut Yapılarda Kullanılabilirliği	İngiltere	Üniversite
11	Tao-chiu ve diğerleri (2005)	Yeni Teknolojilerin Gelişimi	-	BIM Kullanımını Engelleyen Faktörler	Çin	Üniversite
12	Manning ve Messner (2008)	BIM'in Sunduğu Fırsatlar	Yazılım Kullanımı	Tüm Yapı Üretim Süreci Boyunca BIM'in Sağladığı Faydalar ve Karşılaşılan Zorluklar	ABD	Üniversite
13	Ku ve diğerleri (2008)	Karmaşık Geometrilik Binalarda İş Birliği Yaklaşımları	Yazılım Kullanımı	Başarılı Bir İş Birliği Gerçekleştirmek için Etkili Olan Faktörler	ABD	Üniversite

#	Yazar/ Yazarlar	Amaç/Sonuç İlişkisi			Yazar	
		Çıkış Noktası	BIM Araçları	Sonuç	Ülke	Kurum
14	Leicht ve Messner (2008)	3 Boyutlu Parametrik Modelleme Gereksinimi	Yazılım Kullanımı	BIM'in Sağladığı Faydalar ve Karşılaşılan Zorluklar	ABD	Üniversite
15	Kaner ve diğerleri (2008)	Yeni Teknolojilerin Gelişimi	Yazılım Kullanımı	CAD ve BIM Karşılaştırması/BIM için SWOT Analizi	İsrail	Üniversite
16	Pazlar ve Turk (2008)	Birlikte İşlerlik Problemleri	Yazılım Kullanımı	Birlikte İşlerliğin Problem Olduğu Alanlar	Slovenya	Üniversite
17	Motamedi ve Hammad (2009)	RFID ve BIM İş Birliğinin Sağladığı Fırsatlar	Ortak Dosya Kullanımı	RFID ve BIM İş Birliğinin Sağladığı Faydalar	Kanada	Üniversite
18	Ku ve Pollalis (2009)	Karmaşık Geometrilik Binalarda 3 Boyutlu Model Gereksinimi	-	Etkin Geometri Kontrolü için Uygun Sözleşme Düzenlemeleri ile 3 Boyutlu Modellemenin Faydaları	ABD	Üniversite
19	Björk (2009)	Yeni Teknolojilerin Gelişimi/ET Kullanımı	Yazılım Kullanımı	BIM'in Ar-Ge ve Standardizasyondaki Önemi	Finlandiya	Üniversite
20	Suermann ve Issa (2009)	Yeni Teknolojilerin Gelişimi	-	BIM'in Performans Üzerindeki Etkileri	ABD	Üniversite
21	Nour (2009)	Veri Alış-verişindeki Zorluklar	Ortak Dosya Kullanımı	Daha İyi Performans Elde Etmek için Teknikler	Almanya	Üniversite
22	Becerik-Gerber ve Rice (2010)	Fayda-Maliyet Analizlerinde BIM Teknolojilerinin Eksikliği	-	BIM'in Algılanma Düzeyi	ABD	Üniversite
23	Shen ve Issa (2010)	Maliyet Tahminlerinde BIM Kullanımının Artışı	Yazılım Kullanımı	BIM Araçları ile Geleneksel Yöntemlerin Karşılaştırılması/BIM Araçlarının Etkinliğinin Ölçülmesi	ABD	Üniversite
24	Azhar ve Brown (2009)	Enerji Maliyetlerinin ve Çevresel Kaygıların Artışı ile Sürdürülebilir Bina Talebindeki Artış	-	BIM-tabanlı Enerji Analizi Yazılımlarının Karşılaştırılması ve Sağladığı Faydalar	ABD	Üniversite
25	Babič ve diğerleri (2010)	Seri Üretim Prefabrikasyon Süreci ile Şantiye Eylemlerinin Bütünleşmesi için Sektörden Gelen Talep	Ortak Dosya Kullanımı	ERP-CAD Bütünleşmesinin Proje Gelişimi Gözlemleme ve Malzeme Akışı Yönetimindeki Faydaları	Slovenya	Üniversite
26	Moum (2010)	Yeni Teknolojilerin Gelişimi	-	Disiplinlerarası 3 Boyutlu Nesne Kullanımının Faydaları	Norveç	Üniversite
27	Eastman ve diğerleri (2009)	Yeni Bir Alan olan Tasarım Kurallarının Kontrolünün Gelişmesi	-	Tasarım Kurallarının Kontrolünün Gelişmesi için Araştırma Gerekliliği	ABD	Üniversite

#	Yazar/ Yazarlar	Amaç/Sonuç İlişkisi			Yazar	
		Çıkış Noktası	BIM Araçları	Sonuç	Ülke	Kurum
28	Fu ve diğerleri (2006)	Geleneksel CAD Sistemlerinin Enformasyon Paylaşımı ve Alış-verişinde Yetersiz Kalması	Ortak Dosya Kullanımı	Olası BIM Etkileri	İngiltere	Üniversite
29	Jardim-Goncalves ve Grilo (2010)	BIM Adaptasyonunun Sektöre Özgü Zorlukları	Ortak Dosya Kullanımı	Bütünleşmenin Faydaları	Portekiz	Üniversite
30	Vanlande ve diğerleri (2008)	Tüm Yapı Üretim Süreci Boyunca Enformasyonun Yönetilmesi Fırsatı	Modül Ekleme	Paylaşım Sürecinde Daha İyi ve Geçerli Veri Sağlanması	Fransa	Üniversite
31	Sacks ve diğerleri (2010)	3 Boyutlu Parametrik Modellemenin Gelişimi	Yazılım Kullanımı	BIM araçları ile Tasarımda Üretkenlik Artışı/Eksik ve Hatalı Veri Alış-verişi	İsrail	Üniversite
32	Succar ve diğerleri (2009)	Sistemik Model Geliştirme Gerekliliği	-	Gelişim Evreleri ve Kurulum Aşamalarına ait Uygulamalar ve Çıktı Listeleri	Avustralya	Üniversite
33	Grilo ve Jardim-Goncalves (2010)	Birlikte İşlerlik Problemleri	-	Birlikte İşlerliğin Önemi ve Etkileri/Değer Önerisi	Portekiz	Üniversite
34	Jeong ve diğerleri (2009)	Etkin Birlikte İşlerlik Gereksinimi	Yazılım Kullanımı	Veri Alış-verişinde Standardın, Homojenliğin Sağlanması Gerekliliği	ABD	Üniversite
35	Linderoth (2010)	Yeni Teknolojilerin Sağladığı Fırsatlar	-	BIM'in Faydaları	İsveç	Üniversite
36	Rezgui ve diğerleri (2009)	Ürün Veri Teknolojilerinden Düşük Düzeyde Faydalanma	-	Ürün Veri Teknolojilerinin Difüzyonu için Yaklaşım Önerisi	İngiltere	Üniversite
37	Ma ve Zhao (2008)	Enerji Etkin Tasarım için Yeni Teknoloji İhtiyacı	Yazılım Geliştirme	Enerji Etkin Tasarımın Uygulama Fonksiyonları	Çin	Üniversite
38	Rueppel ve Stuebbe (2008)	Acil Durumlar için Maksimum Düzeyde Hazırlıklı Olma Gerekliliği	Ortak Dosya Kullanımı	Sistemin Sunduğu Avantajlar	Almanya	Üniversite
39	Li ve diğerleri (2008)	Lazer Tarayıcıların Sunduğu Fırsatlar	Yazılım Geliştirme	Lazer Tarama ile BIM Sistemlerinin Kullanılabilirliği	Almanya	Üniversite
40	Hu ve diğerleri (2008)	Dördüncü Boyut Olan Zamana Bağlı Yapı Analizlerindeki Kısıtlamalar	Yazılım Geliştirme	BIM, 4 Boyut Teknolojileri, Güvenlik Analizi ve İnşaat Benzetimi Bütünleşmesinin Uygunluğu ve Pratikliği	Çin	Üniversite

İncelenen 40 makalenin 13 farklı ülkede gerçekleştirildiği görülmektedir. Analiz sonuçları, konu alanı ile ilgili çalışmaların, pek çok konu alanında olduğu gibi en çok Amerika Birleşik Devletleri'nde (ABD) yapıldığını göstermektedir. 40 makalenin 14 tanesi ABD'de gerçekleştirilirken, İngiltere ve İsrail 4; Çin ve Almanya ise 3 makale ile ABD'yi izlemektedir. Yayınlanan diğer makaleler ise, Avustralya ve Kanada dışında Finlandiya, Fransa, Norveç, Portekiz, Slovenya ve İsveç olmak üzere diğer Avrupa ülkelerine aittir. 5 makale tek yazarlı olup 17 makalenin 2 yazar; kalan 18 makalenin ise ikiden fazla yazar tarafından yayınlandığı görülmektedir. 13 makaleyi farklı kurumlardan – aynı ülke içinde veya farklı ülkelere – yazarların iş birliği yaparak hazırladığı ortaya çıkmaktadır. Uluslararası iş birliği, farklı perspektiflerin biraraya gelmesi ve konu alanının gelişmesine katkıda bulunması açılarından önem taşımaktadır.

Makaleler kurum açısından ele alındığında; incelenen tüm makalelerin ilk yazarlarının üniversitede faaliyet gösterdiği görülmektedir. Sadece 3 makalenin sanayi-üniversite iş birliğinde yürütüldüğü ortaya çıkmaktadır. Söz konusu durum, BIM konu alanında sektör ile akademik dünya iş birliğinin şu an için oldukça kısıtlı olduğu ile açıklanabilmektedir. Çalışmaların akademik ortamda kaldığı söylenebilmektedir. Halbuki uygulamaya dönük bir konu alanı olan BIM ile ilgili çalışmalarda sektörde faaliyet gösteren katılımcılar ile akademik çalışmaların beraber yürütülmesi büyük önem taşımaktadır. Diğer yandan, incelenen çoğu makalenin bireysel olarak gerçekleştirildiği, yalnızca yedi makalenin bir araştırma sonucu ortaya çıktığı görülmektedir.

Sonuç

Son yıllarda önemi giderek artmaya başlayan BIM kavramının incelendiği bu çalışmada yapım sektörüne yönelik olarak yayınlanan BIM ile ilgili makaleler bir meta-sınıflandırma sistemi aracılığıyla analiz edilmiştir. “Bina Enformasyonu Modellemesi ve BIM” olarak belirlenen sözcükler hakemli dergilerde yayınlanan makalelerin başlık ve anahtar sözcük bölümlerinde taranmıştır. Akademik kitaplar, raporlar ve konferanslarda sunulan bildiriler hariç tutulmuştur. Arama sonucu elde edilen makaleler incelenerek, yapım sektörüne yönelik olan 40 tanesi bu çalışma kapsamında ele alınmıştır. Daha sonra, söz konusu makaleler farklı boyutlarda ele alınarak sınıflandırılmıştır. Makaleler; ilgili oldukları alan, BIM'in hangi alt konu alanları esas alınarak gerçekleştirildiği, yapı üretim sürecindeki yerleri, uygulanan/uygulanabilecek çalışma düzeyleri, kullandıkları araç ve yöntem, sağladıkları katkı, amaç/sonuç ilişkisi, kullandıkları BIM araçları ve gerçekleştirildikleri ülke açılarından incelenmiştir. BIM ile ilgili araştırma eğilimlerinin nasıl olduğunun ve hangi alanlarda boşluk olduğunun belirlenmesi amacıyla yapılan bu çalışmanın sonuçları, BIM kavramının en çok elektronik veri alış-verişi, birlikte işlerlik, bütünleşme, eşgüdüm ve iş birliği açılarından ele alındığını göstermektedir. Farklı uzmanlık alanlarından oluşan birçok katılımcının bir araya gelmesiyle gerçekleştirilen yapım projelerinde yukarıda belirtilen unsurların etkisi tartışılmazdır. Bu nedenle, birçok çalışmada BIM kavramı söz konusu alanlarda ele alınmaktadır. BIM kullanımının sağlayacağı faydalar ve elde edilecek fırsatlar ile BIM kullanımını engelleyen faktörler ve kısıtlamalar incelenen diğer konu başlıkları altında sıralanabilmektedir.

Bu çalışma kapsamında elde edilen bulgular neticesinde BIM kavramının; tasarım ve tüm sürece yönelik çalışmalarda ağırlıklı olması gerektiği söylenebilmektedir. Bununla birlikte, ihale dokümanlarının hazırlanması ve sözleşme idaresi konu alanında, özellikle onaya sunulan dokümanlar (submittals) açısından ele alınması geleceğe dönük olarak potansiyel çalışma alanları olarak önerilebilmektedir.

Kaynaklar

Autodesk (2010). Ad, <http://usa.autodesk.com>, Erişim Tarihi: 31.08.2010.

Bentley (2010). Ad, www.bentley.com, Erişim Tarihi: 31.08.2010.

Betts, M. ve Lansley, P. (1993). "Construction Management and Economics: A Review of the First Ten Years", Construction Management and Economics, Vol. 11, 221-245.

Eastman, C.M. (1999). Building Product Models, CRC Press, London, Great Britain.

Eastman, C. M., Teicholz, P., Sacks, R. ve Liston, K. (2008). BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors, John Wiley and Son, Inc., Hoboken, New Jersey, USA.

Graphisoft (2010). Ad, www.graphisoft.com, Erişim Tarihi: 31.08.2010.

İlter, T., Dikbaş, A. ve İlter, D. (2008). "An Analysis of Drivers and Barriers of Construction Innovation", 5th International Conference on Innovation in Architecture, Engineering and Construction (AEC), 23-25 Haziran, Antalya, Turkey.

Kymmell, W. (2008). Building Information Modeling, Planning and Managing Construction Projects with 4D CAD and Simulations, McGraw-Hill, New York, USA.

Penttilä, H. (2006). "Describing the Changes in Architectural Information Technology to Understand Design Complexity and Free-Form Architectural Expression", ITCON (Special Issue the Effects of CAD on Building Form and Design Quality), Vol. 11, 395-408.