



Mekânsal Bulanık Karar Destek Sisteminin Geliştirilmesi**

Mithat Zeydan^{1**}, Bülent Bostancı², Burcu Oralhan³, Defne Eroğlu⁴, Ulaş Aydın⁵

^{1**} Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Bolu, Türkiye (ORCID: 0000-0001-9459-146X)

²Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği, Kayseri, Türkiye (ORCID: 0000-0003-2255-2503)

³ Nuh Naci Yazgan Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İşletme Bölümü, Kayseri, Türkiye (ORCID: 0000-0001-8905-0140)

⁴NetCAD Yazılım A.Ş., Ankara, Türkiye (ORCID: 0000-0002-3195-1621)

⁵NetCAD Yazılım A.Ş., Ankara, Türkiye (ORCID: 0000-0003-0186-6028)

(Konferans Tarihi: 5-7 Mart 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.araconf55)

ATIF/REFERENCE: Zeydan, M., Bostancı, B., Oralhan, B., Eroğlu, D. & Aydın, U. (2020). Mekânsal Bulanık Karar Destek Sisteminin Geliştirilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (Özel Sayı), 418-429.

Öz

Bu araştırmanın temel amacı, CBS (Coğrafi Bilgi Sistemleri) tabanlı ÇKKV (Çok Kriterli Karar Verme) yöntemleriyle bir Mekansal Karar Destek Sistemi (MKDS) geliştirmektir. MKDS, mekansal problemlerin çözümünde karar vermeye yardımcı olmak için tasarlanmış bilgisayar tabanlı bir sistemdir. Bu sistemler, karar vericilere mekansal ve öznelik bilgilerinin birleştirildiği çözüm uzayında çoklu mekansal kriterleri kullanarak en uygun seçeneğin belirlenmesini sağlamaktadır. Ayrıca, raster ve konuma dayalı farklı alanlardaki bilimsel araştırmalarda sıkça tercih edilmektedir. CBS ile analizler yapılırken değerlendirme kriterlerinin birden fazla olması, süreci kompleks hale getirmektedir. Günümüzde, CBS bazlı çalışmalar kapsamında en uygun yerin belirlenmesi için, çok kriterli karar verme modelleri ile mekansal analizleri entegre ederek harita çözümünü destekleyebilecek mimariler yaygın değildir. Bu sebeple, CBS teknolojilerinin karar verme süreçlerinde mekansal karar vermeye yönelik çözümler sunabilme kapasitesi yetersizdir.

Bu kapsamda NetCAD firması ile yer seçimi ve değerlendirme amaçlı tematik haritaların yapılmasına yönelik bir model geliştirilmiş ve NetCAD Mimari Analiz modülü altında yapıyı entegre eden bir program oluşturulmuştur. Yer seçim ve değerlendirme problemlerine göre belirlenen kriterlerin ağırlıkları Bulanık ÇKKV metotlarından Fuzzy AHP, Fuzzy DEMATEL ve evrimsel algoritma modellerinden Fuzzy CMA-ES ile hesaplanmıştır. Problemlerde yer alan alternatiflerin seçim ve sıralama aşaması Fuzzy TOPSIS metodu ile çözümlenmiştir. Belirtilen süreçlerin tamamında CBS temelli yazılım ürünü olan NetCAD mimarda C sharp programlama dili ile kullanılarak arayüzler oluşturulmuş ve analiz modülüne entegre edilmiştir. Sonrasında, bağımsız bir değişkenin farklı ağırlık değerlerinin sonucu nasıl etkilediği duyarlık analizleri ile belirlenmiştir. Sonuç olarak, nokta, alan ve piksel bazlı tematik haritalar üretilmiştir. Raster harita şeklinde oluşturulan katmanları birleştiren ve sıralandıran TOPSIS, Bulanık TOPSIS, Weighted Overlay, WLC gibi yöntemler kullanılarak karşılaştırmalı uygunluk haritası üretilmiş ve bu haritalar üzerinde en uygun yer seçimini esas alan bir model geliştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: CBS, MKDS, Bulanık, AHP, DEMATEL, CMA-ES.

Development of Spatial Fuzzy Decision Support System

Abstract

The main purpose of this research is to develop a Spatial Decision Support System (SDSS) with Geographic Information System (GIS) based Multiple Criteria Decision Making (MCDM) methods. SDSS is a computer-based system designed to assist decision making in solving a spatial problem. These systems allow decision makers to select the most suitable option using multiple spatial criteria in the solution space where spatial and attribute information are combined. Besides, it is frequently preferred in various working areas of scientific research based on raster and location. However, the fact that the evaluation criteria are more than one while

** Bu makale *International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF 2020)* de sunulmuştur.

making analyzes with GIS complicates the process. Today, architectures that can support the map solution that combines spatial analysis with multi-criteria decision-making models are not common to determine the most suitable location within the scope of GIS based studies. For this reason, the capacity of GIS technologies to offer solutions for spatial decision making in decision making processes is insufficient. In this context, a model for making thematic maps with Netcad company was developed in terms of location selection and evaluation and a program integrated in the NetCAD Software was produced under the NetCAD Architectural Analysis module. The weights of the criteria determined according to location selection and evaluation problems were calculated with Fuzzy AHP, Fuzzy DEMATEL, Weighted Linear Combination, Weighted Overlay and Fuzzy CMA-ES from evolutionary algorithm models. The selection and ranking stage of the alternatives in the problems was resolved with the Fuzzy TOPSIS method. Then, how different weight values of an independent variable affect the result was determined with sensitivity analysis. All of the processes mentioned were interfaced and integrated into the analysis module using C sharp programming language in NetCAD architect, which is a GIS based software product. As a result, point, area and pixel based thematic maps were produced. A comparative suitability map provided that using MCDM Methods such as TOPSIS, Fuzzy TOPSIS, Weighted Overlay, WLC which combine and sort layers in the form of a raster map was produced. Comparative suitability map production was provided by using methods and a model based on the most suitable location selection was developed on these maps.

Keywords: GIS, SDSS, Fuzzy, AHP, DEMATEL, CMA-ES.

1. Giriş

Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), birçok planlama süreci aşaması içeren güçlü bir araçtır. Bu aşamalar; bölge ile ilgili tanımlama ve analiz, süreçte yer alan değişkenler arasındaki ilişkilerin gözlemlenmesi, alternatiflerin üretilmesi veya önerilenlerin değerlendirilmesini içermektedir. Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemleri ise bir karar verme probleminde belirlenen kriterlere göre oluşturulan farklı alternatifleri tanımlamak, değerlendirmek, sıralamak ve seçmek için kullanılmaktadır. Bu sebeple CBS ve ÇKKV mekansal karar alma sistemlerinde daha iyi sonuçların elde edilmesinde ortak kaygıyı paylaştıkları için entegrasyonları önemlidir (Voogd 1983; Jankowski 1995; Barredo 1996; Malczewski 1999; Bosque-Sendra ve Garc'ia 2000; Dai ve diğerleri 2001; Joerin ve diğerleri 2001). Mekansal çok kriterli karar problemi, kalitatif ve kantitatif ölçütlerle tanımlanan bir çok alternatif içermektedir. Mekansal çok kriterli analiz, coğrafi bileşenin dahil edilmesiyle alışlageldik ÇKKV tekniklerinden farklıdır. İki önemli konu karar analizi için önem arz etmektedir. Birincisi CBS bileşeni (örneğin, veri toplama, depolama, geri alma, manipülasyon ve analiz yeteneği), ikincisi ise ÇKKV analizi bileşeni (örneğin, kümelere ayırarak karar alternatiflerinin içine mekansal veri ve karar vericilerin tercihlerinin konumlandırılması) olarak tanımlanmıştır (Carver, 1991; Jankowski, 1995). Coğrafi yer seçimi kararı yerleşim yeri seçeneklerinin tanımlanmasını, analizini, değerlendirilmesini ve seçimini içerecek şekilde verilmektedir (Yang ve Lee, 1997). Bir yer seçimi kararı, bazı adımları içerecek şekilde yapılandırılmaktadır (Ertuğrul ve Karakaşoğlu, 2008). Bu adımlar:

- Yer seçimi alternatiflerinin değerlendirilmesinde kullanılacak olan kriterlerin belirlenmesi,
- Önemli ve etkin kriterlerin tanımlanması ve yer seçimi alternatiflerinin geliştirilmesi,
- Alternatiflerin değerlendirilmesi ve yer seçimi kararının verilmesidir (Erden ve Coşkun, 2011).

Çalışmada ÇKKV ile entegre edilen CBS teknolojisi 1980'lerden başlayarak özellikle mekansal verilerin elde edilmesinde, yönetilmesinde ve analiz edilmesinde yeni bir bilgi işleme teknolojisi olarak ortaya çıkmıştır (Erden ve Coşkun, 2011). Coğrafi boyut içeren çalışmalarda ÇKKV yöntemlerinin tek başına kullanılması ciddi eksiklikler ortaya çıkarmaktadır (Jankowski, 1995). Bu eksiklikler, mekândaki heterojenliği göz önünde bulundurarak değerlendirme imkânı tanıyan MKDS tekniği ile büyük ölçüde giderilmektedir (Malczewski, 1999). MKDS tekniği, değerlendirme kriterlerinin oluşturduğu kümeler ile karar verici tercihlerine ek olarak, kriter değerlerinin ve alternatiflerin mekanda göstereceği farklılıkları da göz önünde bulundurulmaktadır. MKDS tekniğinin uygulanması, ÇKKV teknikleriyle CBS'nin birlikte kullanımıyla gerçekleştirilebilmektedir. Bu yaklaşım subjektif değerler ve tercihlerin, coğrafi özellikler ile birleşimindeki eksiklikleri büyük ölçüde azaltmaktadır (Mohit ve Ali, 2006). ÇKKV teknikleri ve konum verilerine dayalı CBS entegreli bugüne kadar çok sayıda çalışma yapılmıştır (Jakimavičius ve Burinskiene, 2009; Malczewskia, 1996; Bakhtiarifar ve diğerleri, 2011). CBS ve ÇKKV tekniklerinin birlikte kullanılmasının katkısı yaygın olarak çalışmalarda belirtilmektedir (Arentze ve diğerleri 1996; Johnston 1999; Yeh 1999; Fotheringham ve Wegener 2000; Lukashev ve diğerleri, 2001; Esmaelian ve diğerleri, 2015). CBS-ÇKKV yaklaşımlarının en dikkat çekici özelliklerinden biri çevre / ekoloji, ulaşım, kentsel / bölgesel planlama, atık yönetimi, hidroloji, tarım, ormancılık, jeoloji veya site seçimi gibi bir çok alanda kullanılabilir olmasıdır (Malczewski, 2006). Ayrıca kentsel yönetimlerde taşıma, hava kalitesi, sürdürülebilirlik, su yönetimi, atık yönetimi, altyapı yönetimi, acil durum yönetimi, doğal kaynak yönetimi, bölgesel planlama ve afet yönetimi gibi birçok alanda bir karar destek tekniği olarak da uygulama alanı bulmuştur (Cowen 1988; Densham ve Goodchild, 1989).

Malczewski tarafından 2006 yılında yayınlanan 1990-2004 yılları arasını inceleyen literatür araştırmasında her geçen gün CBS ve ÇKKV entegrasyonuna yönelik çalışmaların hızla arttığı ve artacağı belirtilmiştir. Mekansal Karar Destek Sistemi (MKDS) çalışmaları incelendiğinde farklı temalar üzerine durulan birçok çalışmanın literatürde yer aldığı görülmektedir. Rodrigues, çalışmasında, kentsel altyapı planlamalarına karar verebilmek için esnek ve kullanıcı dostu çevrede yerel ve devlet kurumlarına tavsiye vermesi amaçlanan bir CBS tabanlı çok kriterli mekansal karar destek sistemi sunmaktadır (Coutinho-Rodrigues, Simão ve Antunes, 2011). Wann-Ming Wey 2007 yılında Taiwan'da şehir yenilenmesine yönelik projelerin seçim sorunu için bulanık delphi metodu, AHP ve sıfır-bir hedef programlama temelli bir metod önermişlerdir. J.K. Yuan ve ark. 2010 yılında yine benzer bir konu için Porter'ın elmas modelini uygulamışlar ve kriterlerin önceliklerini Bulanık Promethee yöntemi ile değerlendirmişlerdir. A.B.D. Ulaştırma Bakanlığı, Delaware Devlet karayolları üzerinde araçların boy ve kilolarını baz alarak, hareketlerini yönetmek için web tabanlı bir mekansal karar destek sistemi geliştirmiştir. Bu sistem, ağ optimizasyonu teknikleri ve Delaware'in bugünkü ve

gelecekteki ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla sağlam, yüksek performanslı ve ölçeklenebilir bir sistem sağlamak için ağ optimizasyon teknikleriyle J2EE web mimarisi entegre edilmiştir. Yeni tasarlanan sistem çok sayıda aciliyeti olan ve gelecek için ihtiyaç duyulabilecek faydalar sağlayarak, mevcut manuel süreçlerin haftadan saniyeye kadar hesaplanmasına olanak sağlanmaktadır. Bu sayede karayolu maliyetlerinin azaltılması planlanmakta ve hızla değişen koşullara karşı potansiyel güvenlik önlemi alınabileceği düşünülmektedir (Ray, 2007). Kullanıcı dostu web tabanlı mekânsal karar destek sistemlerinden biri de bir ulaşım ağına yönelik tasarlanmıştır. Çalışma, araç rotalama probleminin çözümünde en uygun araç yollarını tespit edebilmek için hazırlanmıştır. Web Tabanlı Mekansal Karar Destek Sistemi (WMKDS Google Maps™) ile haritalık ve ağ verileri birleştirilmekte, bireysel araç rota haritaları oluşturmak için karınca koloni algoritması, meta sezgisel olarak yazarlar tarafından geliştirilmiştir (Santos, Coutinho-Rodrigues ve Antunes, 2011). Moghadam ve arkadaşları kentsel alanlar bağlamında kalitatif ve kantitatif kriterler içeren yeni bir mekânsal çok kriterli karar destek sistemi geliştirmişlerdir (Moghadam ve diğerleri, 2016). 2012'de yapılan bir çalışmada ise rasyonel kent planlamasında farklı potansiyel alanların belirlenmesi için Fuzzy Topsis yönteminin kullanılması önerilmiştir (Torkamani ve diğerleri, 2012).

Raju ve arkadaşları, 2000, ELECTRE TRI ve diğer ÇKKV tekniklerini kullanarak sürdürülebilir su kaynakları planlaması için çok kriterli bir analiz uygulamıştır. Antunes ve arkadaşları, 2011, sulama yönetimi alternatiflerinin değerlendirilmesi için AHP ve SMCE (Sosyal Çok Kriterli Değerlendirme) kullanan katılımcı bir, çok kriterli analiz sürecini geliştirmiştir. Van Calcer ve arkadaşları, 2006 Multi-Attribute Utility Theory (MAUT) yöntemini, Hollanda süt çiftliklerinde sürdürülebilirliğin ekonomik, sosyal ve ekolojik yönleriyle değerlendirilmesi için uygulamıştır. Dantsis ve arkadaşları, 2010 iki farklı Yunanistan bölgesinde çiftliklerin sürdürülebilirlik düzeyini değerlendirmek ve karşılaştırmak için Multi-Attribute Value Theory (MAVT) yöntemini kullanmıştır. Gómez-Limón ve Riesgo, 2009 ve Santos vd., 2011, tarımsal sürdürülebilirliğin değerlendirilmesinde AHP toplama yöntemini uygulamıştır (Bu parantez içindeki kaynakları niye verdik? Yukarda saymışız zaten) (Silva ve diğerleri, 2014; Jelokhani-Niaraki ve Malczewski, 2015; Hassan ve diğerleri, 2013; Mohd Shamsuddin ve diğerleri, 2013; Bali ve diğerleri, 2015).

2016 yılında yapılan bir çalışmada ekoturizmin strateji geliştirme ve yönetiminde planlama uzmanlarına önemli bir destek sağlanması amacıyla ekoturizmin sürdürülebilir kalkınması için bölgesel uygunluğunun belirlenmesi için güvenilir bir model geliştirilmesi amaçlanmıştır. Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Çok Kriterli Karar Analizi (MCDA) 'nın Bulanık Karar Verme Denemesi entegrasyonu ile geliştirilen model Sırbistanda uygulanmıştır. Ekoturizm potansiyellerinin uygunluk sınıflarını tahmin etmek ve haritalamak için oluşturulan 4 küme ve 16 kriter Bulanık DEMATEL yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir. Nihai uygunluk haritası Ağırlıklı Doğrusal Kombinasyonun (WLC) uygulanmasıyla elde edilmiştir. Modelin istikrarlı ve uygun olduğu duyarlılık analizi ile oluşturulan 4 uygunluk sınıfında (Oldukça Uygun (S1), Orta Derecede Uygun (S2), Marjinal Uygun (S3) ve Uygun Değil (N)) değerlendirilmiştir (Gigović ve diğerleri, 2016). Benzer bir çalışma 2013 yılında (Dashti ve diğerleri, 2013) turizm için uygunluk haritası CBS destekli Ağırlıklı Lineer Kombinasyon (WLC) kullanılarak oluşturulmuştur. Mahdavi and Niknejad'ın (2014) yılında yaptığı ekoturizmi değerlendiren çalışmada Delphi tekniği ile belirlenen temel ve alt kriterler AHP ve bulanık AHP ile karşılaştırılmıştır. Bali'nin 2015 yılında Hazar denizi civarında en uygun ekoturizm bölgesinin seçimi için yaptığı çalışmada Bulanık Mantık ve CBS temelli basit bir SDSS modeli geliştirmiştir. Johnson 2005'te yazdığı web-tabanlı karar destek sistemi yazılımında, çok kriterli karar verme tekniklerinden PROMETHEE'yi kullanarak konut birimi ve komşuluk seçiminde müşterilere yönelik değerlendirme çalışması yapmıştır (Johnson, 2005).

Güneydoğu İspanya'da Cartagena (Murcia Bölgesi) bölgesindeki fotovoltaik güneş enerjisi santrallerinin en uygun yerleşim değerlendirmesini yapabilmek için CBS ve ÇKKV birlikte uygulanmıştır. Çalışmada kullanılan kriterler mevzuatta yer alan (planlama yönetmelikleri, korunan alanlar, karayolu ağları, demiryolları, su yolları, dağlar, vb.) belirleyicilerden elde edilmiştir. Bu kriterler konum, jeomorfolojik, çevresel ve iklimsel kriterlerdir (Sánchez-Lozano ve diğerleri, 2013). Yenilenebilir enerji alanında ise CBS ve ÇKKV entegre eden çalışmalar mevcuttur. (Defne ve diğerleri, 2011; Charabi ve Gastli, 2011; Mari, 2011; Uyan, 2013; Aydın ve diğerleri, 2013). 2011'de Charabi ve Gastli tarafından ESRI ArcMap 9.3'te entegre edilen Boroushaki ve Malczewski tarafından geliştirilen Bulanık Mantıksal Sıralama Ağırlığı Ortalaması (FLOWA) modülü kullanılmıştır. Fotovoltaik uygun alan seçiminde (i) Güneş ışınımı (ii) sınırlama alanları ve (iii) büyük yollara yakınlık kriterlerinin kullanıldığı görülmüştür. İran'da potansiyel rüzgar hatlarını belirlemek için (Arıza mesafesi, taşkın hattına olan mesafe, kıyı şeridinden uzaklık), sosyal (Kentsel alana uzaklık, kırsal alana uzaklık, karayollarına mesafe, havaalanına mesafe) ve ekonomik (Rüzgar hızı, yükseklik, jeoloji, eğim) olmak üzere 11 kriter incelenmiştir. Çalışma da bulanık verilere dayanarak grafik türleri Doğrusal / Simetrik ve Sigmoidal / Monotonik artan ve azalan fonksiyonlar olarak belirlenmiştir ve sonuç olarak bulanık haritalar oluşturulmuştur. (Nasehi ve diğerleri, 2016).

Literatürde yoğunlukla üzerinde çalışılan CBS ve ÇKKV yöntemlerinin dört olası entegrasyon modu literatürde yer almaktadır (Goodchild, 1992; Chakhar ve Martel, 2003; Jankowski, 1995; Malczewski, 1999, 2006, 2010; Chakhar ve Mousseau, 2008): (i) entegrasyon yok, (baskın) (ii) gevşek entegrasyon (dolaylı entegrasyon), (iii) sıkı entegrasyon (dahili) ve (iv) tam entegrasyon. ÇKKV ve CBS entegrasyon yönü bakımından da sınıflandırılabilir. Bunlar (i) ana yazılım olarak GIS'le tek yönlü entegrasyon, (ii) ana yazılım olarak ÇKKV aracıyla tek yönlü entegrasyon, (iii) iki yönlü Entegrasyon ve (iv) Dinamik Entegrasyondur. Bazı ÇKKV yöntemleri, 90'lı yıllarda ticari ve açık kaynaklı olarak gevşek entegrasyon modu ile GIS yazılımında geliştirilmiştir. Öncelikle Visual Basic, C, C ++, Python ve diğerleri gibi programlama dilleriyle uygulama programlarının yazılmasına izin veren makrolar geliştirilmiştir. Bu sayede platformdaki eklentileri hazırlamak, derlemek ve çalıştırmak için sağlanan araçlar geliştirilmiş oldu (Sugumaran ve Degroote, 2011) ÇKKV çözümleri için Expert choice, DECISION PAD, PROMCALC, Microqualiflex ve birçok matematiksel programlama (LINDO) yazılımları kullanılırken, CBS'de IDRISI, ArcGIS, SPANS,TNT-GIS v.b. bir çok programın kullanıldığı belirtilmiştir (Malczewski, 2006). Literatürde CBS tabanlı ÇKKV yöntemlerine yönelik çok sayıda çalışma yapılmış olmasına rağmen, ÇKKV bileşenleri günümüzde yalnızca birkaç CBS programına (örneğin, ARCGIS, IDRISI, ILWIS, QUANTUM, DECERNS, GRASS, Common GIS vb.) entegre edilebilmiştir. ÇKKV-CBS entegrasyonunda yaygın olarak Ağırlık Toplama / Boolean Yerleşimi, İdeal / Referans Noktası, Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) ve Outranking yöntemleri (ELECTRE ve

PROMETHEE) (Malczewski, 2006) geliştirilmiştir. Örneğin ELECTRE TRI yöntemi ile CBS yazılımına entegrasyonu, Sobrie (2011) ve Sobrie ve diğerleri, 2012 tarafından QUANTUM yazılımında, Python programlama dili kullanarak ELECTRE TRI algoritmasını uygulayan bir eklenti ile geliştirilmiştir. Çok kriterli mekansal karar verme sürecinde duyarlılık analizine yönelik ise 2004 yılında yapılan literatür çalışmasında incelenen 28 makalenin sadece 17'sinde yani % 61'inde duyarlılık analizi gerçekleştirildiği görülmektedir. Duyarlılık analizi uygulayan (bahsedilen 17 makalenin 14'ü) makalelerin % 82'sinde kullanılan analiz matematiksel programlama ile sadece giriş faktör ağırlıklarını değiştirerek sonuçların önemli ölçüde değişip değişmediğini test etmeye dayanmaktadır (Delgado ve diğerleri, 2004).

Literatürde birçok araştırmaya konu olan CBS ve ÇKKV yöntemlerinin entegrasyonuna yönelik çalışmaların birçoğunun farklı platformlarda analizlerinin yapılarak yorumlandığı, yazılımsal entegrasyonunun sağlanmasında yetersizliklerin olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışmada amaç CBS tabanlı bulanık ÇKKV teknikleri (Fuzzy AHP, Fuzzy DEMATEL, Fuzzy TOPSIS, Fuzzy verilere dayalı CMA-ES) kullanılarak model bazlı bilimsel esasları içeren tematik haritalar üretilme sürecinin yazılımsal entegrasyonunun sağlanmasıdır. Bu kapsamda çalışmada birinci bölümde literatür taramasını içeren Giriş Bölümü, ikinci bölümde araştırmanın amaçlarının, sınırlılıklarının ve araştırma modelinin paylaşıldığı Materyal ve Metot, üçüncü bölümde araştırmanın detaylarının paylaşıldığı Uygulama ve son bölümde ise çalışmada elde edilen sonuçları içeren ve değerlendiren Sonuçlar ve Tartışma sunulmaktadır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Araştırmanın Amacı

Bu araştırmanın temel amacı, CBS tabanlı ÇKKV yöntemleriyle bir MKDS (Mekansal Karar Destek Sistemi-SDSS-Spatial Decision Support System) geliştirmektir. Bu çerçevede, yer seçim ve değerlendirme problemlerine göre belirlenen kriterler (kriterlere göre değişebilecek parametreler) ile bulanık ÇKKV metotları (ve/veya hibrid metotlar) ve CMA-ES algoritması kullanılarak, NetCAD firması işbirliğinde yer seçimi ve değerlendirme amaçlı tematik haritaların yapılmasına yönelik bir model geliştirilmesini ve Netcad Mimar'da Analiz modülü altında bir program oluşturulmasını sağlamaktır.

Çalışmada, GIS tabanlı bulanık ÇKKV tekniklerinden Fuzzy AHP, Fuzzy DEMATEL, Fuzzy TOPSIS, Fuzzy verilere dayalı CMA-ES algoritmaları kullanılarak model bazlı bilimsel esasları içeren tematik haritalar üretilmektedir. Bulanık mantığa dayalı konumsal ve konumsal olmayan ÇKKV yöntemleri ile yer seçimi ve değerlendirme yapabilecek CBS tabanlı bir harita yazılımı geliştirilecektir. Çalışma ile bir taraftan, literatürde yoğunlukla kullanılan CBS-MKDS entegrasyonuna yönelik tek bir platform üzerinde uygulamanın yapılabileceği bir araç geliştirilmesinin yanısıra farklı bulanık ÇKKV metotlarının uygulanabilmesine imkan sağlanarak modele bağlı olarak elde edilecek farklı tematik haritalar oluşturulmasına olanak sağlanacaktır. Uygulama bu açıdan CBS-MKDS konularında araştırma yapan veya yapmak isteyen akademisyen, uzman, araştırmacılar ile yönetici konumundaki karar vericiler için fonksiyonel ve kolay kullanılabilir bir araç olacağından önem arz etmektedir.

2.2. Araştırmanın Sınırlılıkları

Netcad Mimar, her türlü mekansal ve mekansal olmayan veriyi kullanarak, hazır operatörler yardımıyla ard arda oluşturulan iş akışları sonucunda, konumsal analiz ve sentez modellerinin kolaylıkla oluşturulabildiği model tasarımcısıdır. Mekansal Karar Destek Sistem Modülü, Netcad ürünlerinden biri olan Mimar yazılımı için bir modül olarak tasarlanmıştır. Mimar, operatörler yardımı ile iş akışları oluşturma, yönetme ve düzenlemede kullanılan bir uygulamadır. İş akışları tasarlanabilmekte ve sonuç çıktıları elde edilebilmektedir. Mekansal KDS çalışmasında birden çok yöntemin kullanıldığı ve büyük bir iş akışının olduğu düşünüldüğünde Mimar ürünü, proje için son derece uygun bir iş aracı olarak karşımıza çıkmaktadır.

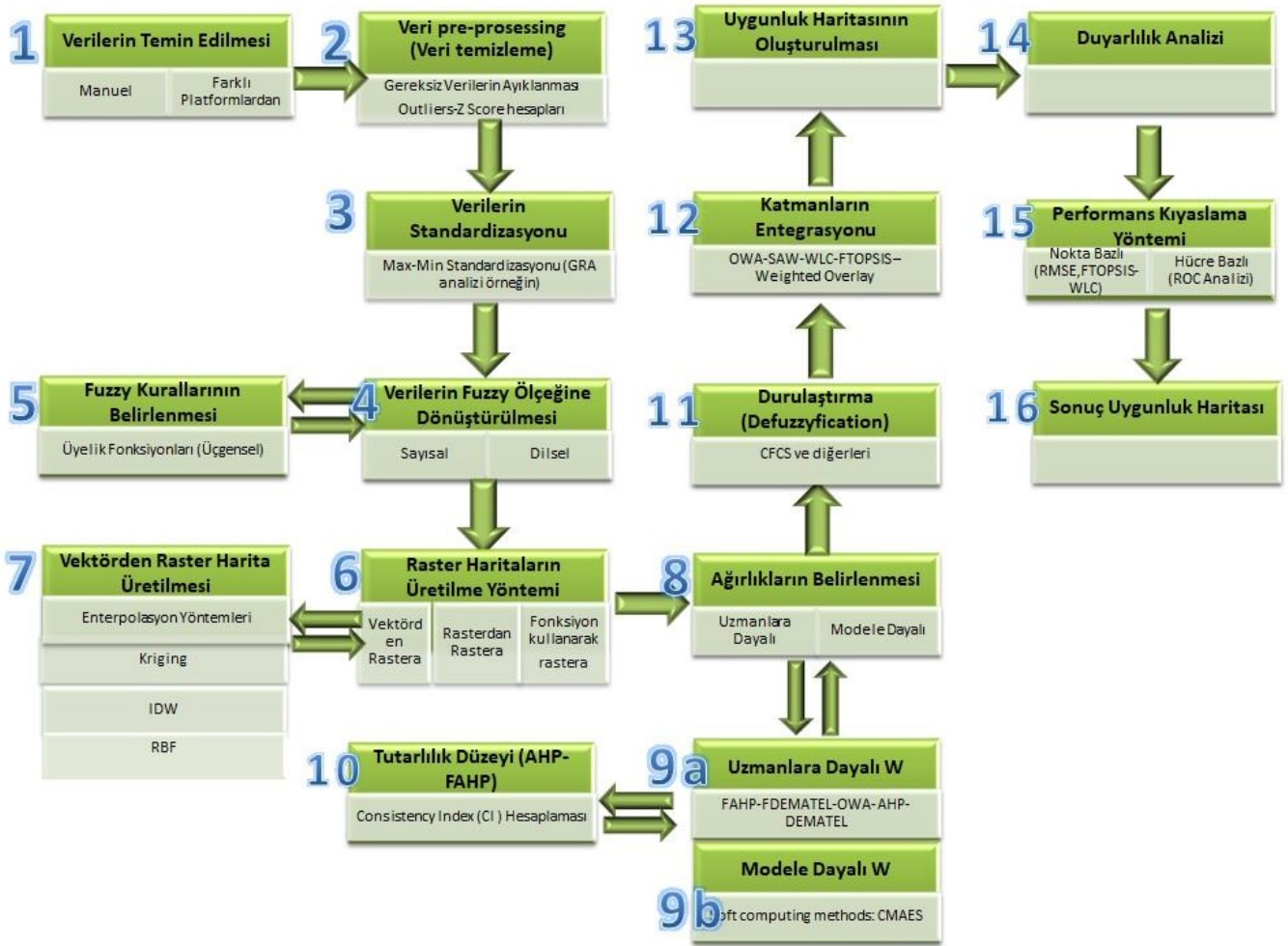
CBS tabanlı bulanık ÇKKV tekniklerinden literatürde araştırmacılar tarafından sıklıkla kullanılan Fuzzy AHP, Fuzzy DEMATEL, Fuzzy TOPSIS ve yeni bir evrimsel algoritma olan Fuzzy verilere dayalı CMA-ES algoritması mimari yapıya entegre edilecektir. Sisteme kaydedilen sayısal ve /veya dilsel verilerin bulanık ölçeğe dönüştürülmesi üçgensel üyelik fonksiyonu kurallarına göre belirlenmiştir. Ayrıca bu algoritmaları ve Netcad Mimar yapısında mevcut durumda yer alan sınıflandırma ve ağırlıklı katmanlama gibi yöntemlerde dahil edilerek karşılaştırmalı performans kıyaslamaları yapılmasına imkan sağlanacaktır. Tematik haritaların üretiminde Netcad mimarda yer alan enterpolasyon yöntemleri kullanılacaktır.

2.3. Araştırmanın Yöntemi ve Modeli

Bu çalışma ile bulanık mantığa dayalı konumsal ve konumsal olmayan ÇKKV yöntemleri ile yer seçimi ve değerlendirme yapabilecek CBS tabanlı bir harita yazılımı geliştirilecektir. Veri tabanı programlarından veri aktarımları, ağırlık belirleme amaçlı tablo verisi ya da mekansal öznitelik verisi, raster harita verilerinin aktarımı ve vektör harita verilerinin aktarımına yönelik sistem tasarlanmıştır.

Araştırma modeli Şekil.1'deki gibi tasarlanmıştır. Netcad yazılımına veriler manuel veya farklı platformlardan, farklı formatlarla aktarılabilir. Verilerin ön işleme aşaması tamamlandıktan sonra verilere yönelik bir standardizasyon işlemi gerçekleştirilecektir. Bu alanda kullanıcı yazılıma yüklediği verilerin sınır özelliklerinin tanımlanmasını yapacaktır. Sisteme kaydedilen sayısal ve /veya dilsel verilerin bulanık ölçeğe dönüştürülmesi sağlanacaktır. Bulanık kurallar üçgensel üyelik fonksiyonlarına göre belirlenmiştir. Raster haritaların üretilmesinde vektörden rastera, rasterdan rastera ve fonksiyon kullanılarak rastera dönüştürülebilmektedir. Vektörden rastera dönüştürülmesinde IDW, Kriging, RBF gibi enterpolasyon yöntemlerinden faydalanılmaktadır.

Sisteme tanımlanan değişkenlerin uzmanlara dayalı ağırlıklarının belirlenmesinde Fuzzy AHP, Fuzzy DEMATEL, OWA gibi algoritmalar kullanılırken, modele dayalı ağırlıkların belirlenmesinde Fuzzy verilere dayalı CMA-ES evrimsel algoritması kullanılacaktır. Fuzzy AHP yöntemi uygulandığında ise tutarlılık indeksi (CI Consistency Index) hesaplaması ayrıca yapılacaktır. Bulanık ağırlıkları belirlenen değişkenlere yönelik durulaştırma işlemi CFCS yöntemi ile yapılacaktır. Katmanların entegrasyonunda ise Netcad Mimar üzerinde yer alan ağırlıklı katmanlama yöntemlerinin yanısıra FTOPSIS yöntemi ve WLC geliştirilerek sisteme entegre edilecektir. Sonuç olarak yer seçimi ve değerlendirme bazlı uygunluk haritaları üretilecektir. Kullanıcı tarafından talep edildiği takdirde değişkenlerin etkisinin değerlendirilmesine yönelik duyarlılık analizlerinin yapılabilmesi içinde mimar üzerinde bir modül geliştirilecektir. Uygunluk haritalarının oluşturulmasında değişkenlerin ağırlıklarının hesaplanması için mimara entegre edilen algoritmalarında ayrıca performans kıyaslaması nokta bazlı veriler için RMSE, FTOPSIS, WLC yöntemlerinin ve hücre bazlı veriler için ROC analizlerinin yapılabilmesine yönelik yazılım geliştirilecektir. Sonuçların değerlendirilmesi, karşılaştırılması, doküman, tablo, rapor ve harita (uygunluk haritası) şeklinde çıktı alınabilmesi sağlanacaktır. Belirtilen araştırmanın planlanmış modeli Şekil.1’de sunulmaktadır.



Şekil 1. Araştırmanın Modeli

3. Uygulama

NetCAD ile yer seçimi ve değerlendirme amaçlı tematik haritaların yapılmasına yönelik geliştirilen model kapsamında, Netcad Mimari Analiz modülü altında yapıyı entegre eden bir program oluşturulmuştur. Mekânsal KDS olarak adlandırılan modül oluşturulmaya başlanmış ve proje dahilinde geliştirilen her operatör bu modül altında toplanılmıştır.

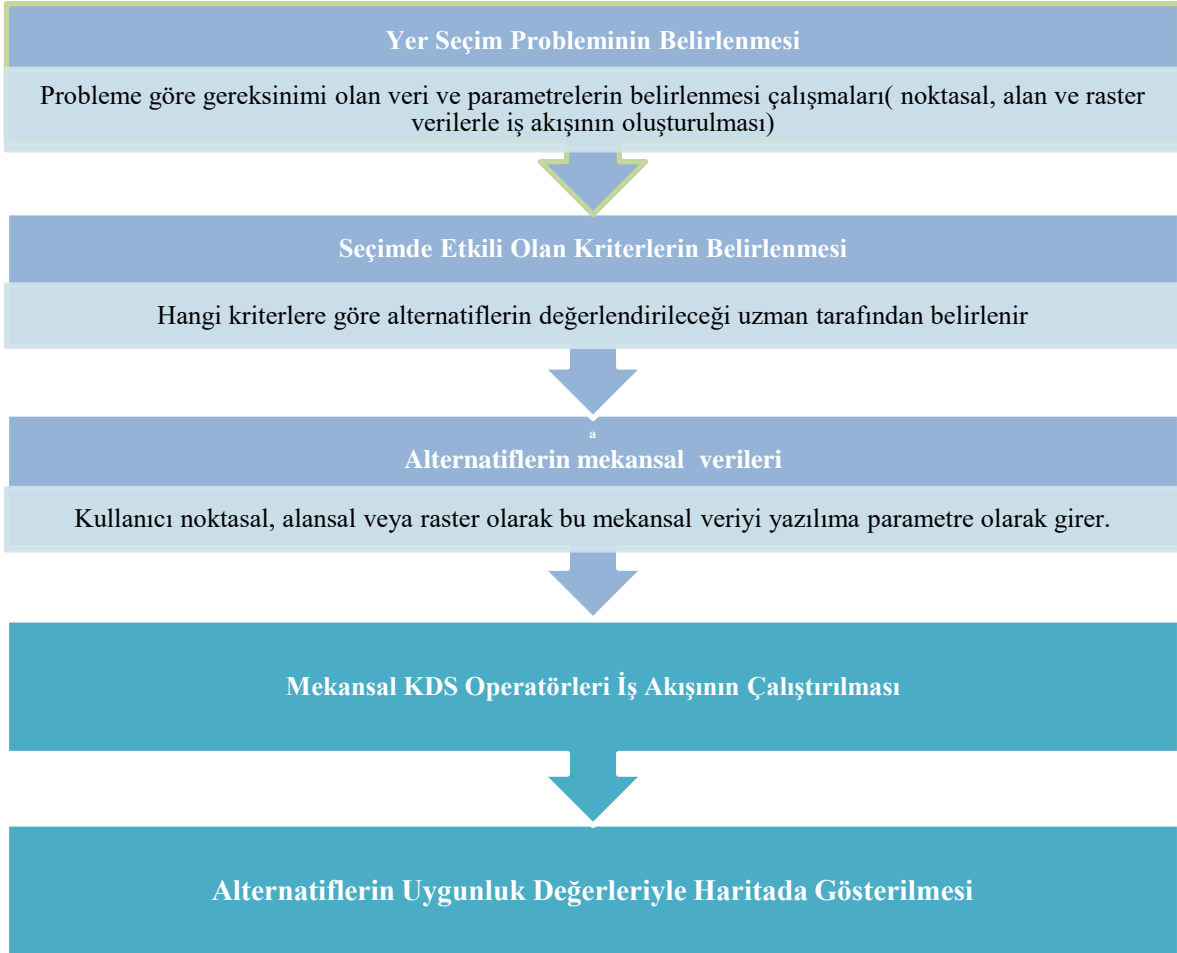
Yer seçim ve değerlendirme problemlerine göre belirlenen kriterlerin ağırlıkları Bulanık ÇKKV metodlarından

- Fuzzy AHP,
- Fuzzy DEMATEL,
- Fuzzy CMA-ES ile hesaplanmıştır.

Problemlerde yer alan alternatiflerin seçim ve sıralama aşaması Fuzzy TOPSIS metodu ile çözümlenmiştir. Belirtilen süreçlerin tamamı CBS temelli yazılım ürünü olan NetCAD mimarda C sharp programlama dili ile kullanılarak arayüzler oluşturulmuş ve analiz

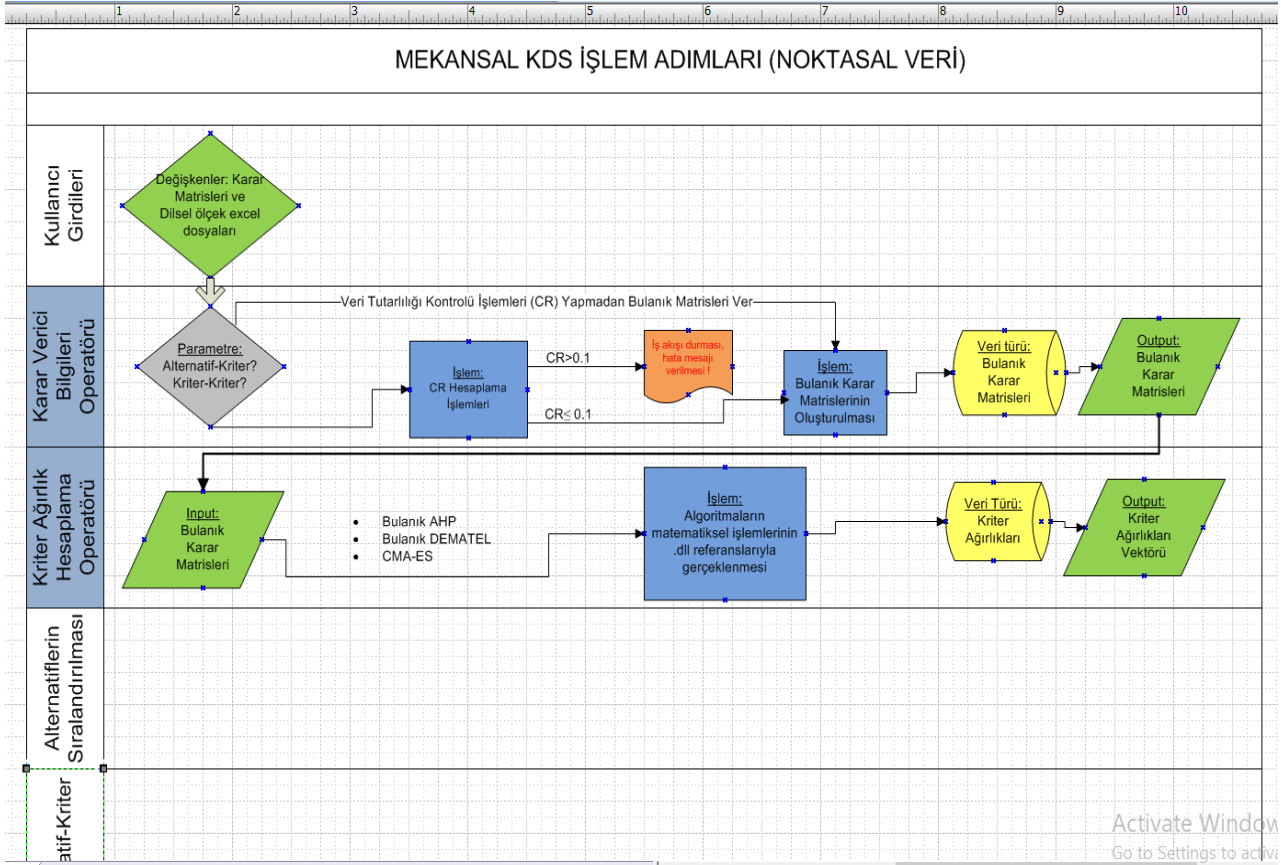
modülüne entegre edilmiştir. Mekansal KDS modülündeki operatörler, daha önceki dönemlerde belirlenen problemlerin (örneğin; adayların noktasal veri olması ya da operatörlerin raster verilerle çalışır olması gibi), çözümündeki adımları gerçekleştirecek şekilde geliştirmeleri yapılmaktadır.

Geliştirme sürecinde; her bir operatörün sadece spesifik bir görevi yerine getirmesi, bu görevi yerine getirmek için de spesifik türde parametre ve girdilerle çalışması ve gene spesifik bir türde çıktı üretmesi planlanmıştır. Böylece sadece çıktısı ve girdisi aynı tür olan operatörler bağlanabilmektedir. Bir operatör diğer operatör için girdi oluşturacak şekilde iş akışı kurgulanmıştır. Burada hangi operatörlere ihtiyaç duyulduğu (işlem adımlarının belirlenmesi) ve bu operatörlere ait spesifik parametre, girdi ve çıktılarının belirlenmesinde ise iş paketi kapsamında yapılan çalışmalardan yararlanılmıştır. Aşağıda yer alan akışta mekânsal karar verme probleminin çözümünde izlenmesi gereken işlem adımları Şekil.2’de verilmektedir.



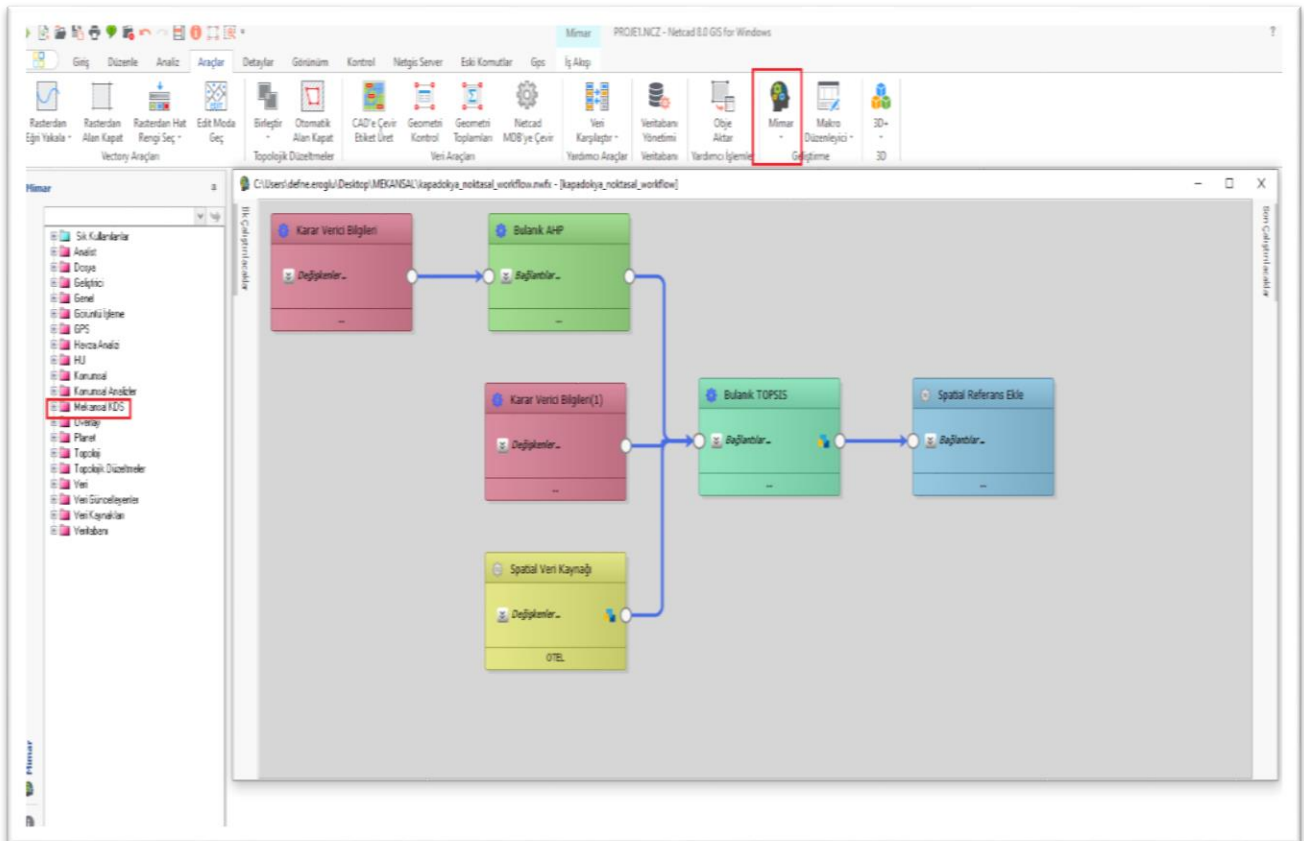
Şekil 2. MKDS İşlem Adımları

Belirtilen akış grafiğindeki ilk üç açık renkli mavi kutucuklar özellikle daha önceki dönemde yapılan çalışmalar olup, operatörlerin tanımlanmasında ve parametrelerinin oluşturulmasında bu adımlar gözlenmektedir. Çalışma bir örnek vaka üzerinden yer seçimine yönelik uygulanmıştır. Karar problemine uygun olarak özgün veri setleri hazırlanmış, veri analizi ve parametre çalışmaları yapılmıştır. Alternatifler için bölgenin uydu görüntüsünden x, y koordinatları elde edilmiş olup, mekânsal olarak noktasal veriler, alternatif bilgilerin diğer sözel verileriyle beraber *.shp dosyasında saklanmıştır. Çalışma döneminde örnek vaka senaryolarına bağlı olarak Netcad Mimar’da Mekansal KDS modülü operatörleri geliştirilmiştir. Geliştirilen Mekansal KDS modülü operatörünün tüm yöntemleri içeren detaylı akış şeması Şekil.3’te yer almaktadır.



Şekil.3 Mekansal KDS Modülü Operatörleriyle Mimar İş Akışı

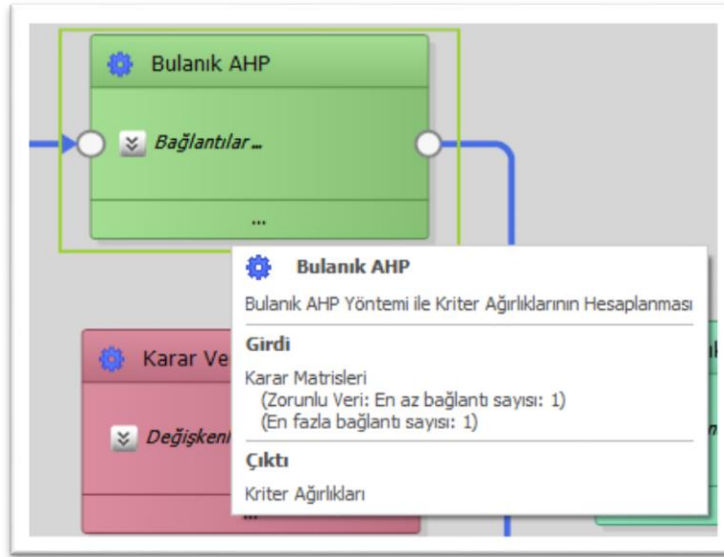
Bulanık AHP ve Bulanık TOPSIS yöntemlerine göre geliştirilen Mekansal KDS modülü operatörünün vaka odaklı akış şeması Şekil.4'te sunulmaktadır. Örnek vaka çalışması için uydu görüntüsü referanslara eklenerek entegrasyon sağlanmıştır.



Şekil.4 Fuzzy AHP ve Fuzzy TOPSIS Örnek Vaka İş Akışı

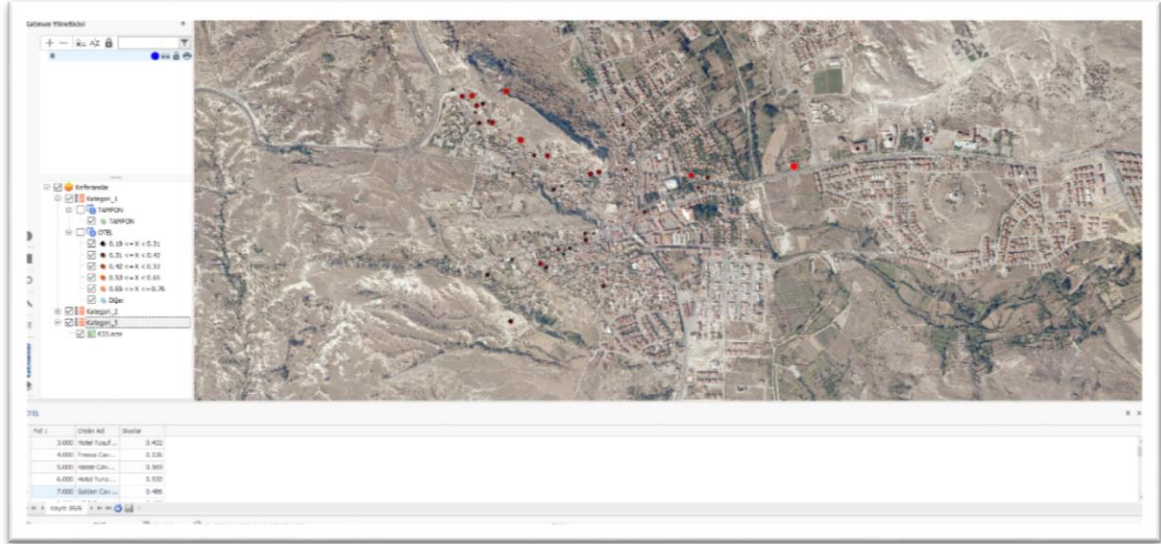
Geliştirilen karar verici bilgileri operatöründe önemli parametreler aşağıdaki gibi oluşturulmuştur:

- Karar Verici Dosya Adı: Kullanıcı, dilsel ifadelerle oluşturulmuş uzman görüş matrislerini (iş paketi kapsamında örnek olarak çalışılan formatta), birden fazla uzman görüşlerini excel formatında buradan yükler.
- Dilsel Ölçek Dosya Adı: Karar Verici Dosyasında, uzman görüşleri matrislerinde kullanılan, dilsel değerler için karşılıkları olan bulanık değer bilgilerinin excel formatında alınmasıdır.
- Operatör dilsel ifadelerle dayanan uzman görüşleri dosyalarını, karar verici dosyalarını, dilsel ölçek bilgisine göre bulanık karar matrislerine dönüştürür.
- Kullanım Türü (Kriter-Kriter/Alternatif-Kriter): Bu değişkenin tanımlanmasının sebebi, literatürde Saaty tarafından önerilen 'Kriter-Kriter' ikili karşılaştırma matrislerinin, tutarlılık oranı ön koşulunun olmasıdır. Matrisin tutarlılık oranı 0.1'den küçük ya da eşit ise uygun bir veri olarak algoritmalarda kullanılır, aksi halde subjektif değerlendirme veri uygun değildir. Operatörün burada verinin kontrol edilmesi işleminde gerçekleştiği matematiksel koşullar için yapılan işlemler iş paketi kapsamında çalışılarak tamamlanmıştır. Burada TO (Tutarlılık Oranı) hesaplanmasında; önce ikinci eşitlik için 'Karar Verici Bilgileri' operatörünün kullandığı, C#'da ilgili numerik işlemler yazılmıştır. Burada bulanık matrisin öz değerleri (eigenvalue) hesaplanması yapılır, öz değerler hesaplandıktan sonra maksimum olan alınır ve kriter sayısı, n ile arasındaki fark alınarak kriter sayısının bölünmesiyle tutarlılık indeks değeri hesaplanır. Tutarlılık indeks değerinin rastlantısal(random) indeks' e oranıyla ise tutarlılık oranı elde edilmiş olunur. Bu işlem sadece FAHP ile ağırlık belirleme aşamasında yapılmaktadır. Operatör TO 0.1'den büyük ise bulanık karar matrisleri çıktısını vermez ve hata mesajı verir; küçük veya eşit ise bulanık karar matris, birden fazla uzmana ait karar dosyaları eklenmiş ise çoklu karar matrislerini verir. Burada operatörün çıktısının türü Bulanık karar matrisleridir ve bu türde girdi kabul eden operatörlere bağlanabilir durumdadır (Şekil 5).
- Bulanık AHP Operatörü Netcad Mimar'da çalışan bu operatör şu şekilde geliştirilmiştir: girdi olarak bulanık karar matrislerini alır, görev olarak Bulanık AHP algoritma işlemlerini yapar, kriter ağırlıklarını hesaplar ve 'kriter ağırlıkları vektörü' türünde de çıktı verir. Bu şekilde operatörün ardından gelecek bir başka operatörün, girdisi 'kriter ağırlıkları vektörü' türünde tanımlanmış ise sadece bu operatöre bağlanabilir. Daha sonrasında Bulanık TOPSIS algoritmasında, adayların derecelendirilmesi işlemlerinden alternatif-kriter uzman değerlendirme matrisinin normalizasyonu sürecinde kriter ağırlıkları vektörü kullanılır. Dolayısıyla geliştirilecek olan TOPSIS operatöründe input'lardan biri mutlaka 'kriter ağırlıkları vektörü' olmalıdır.



Şekil.5 Mekansal KDS Bulanık AHP Operatörü

- Bulanık TOPSIS Operatörü; Mekânsal seçimde, adayların uygunluklarının derecelendirilmesinde, en son uygulanan bulanık algoritma ile bulanık TOPSIS işlemlerini gerçekleştirmektedir. Bu operatörde girdi olarak seçimin yapılmasındaki kriter ağırlıklarının önem ağırlıkları ile uzman görüşüne dayalı alternatiflerin kriterlere göre sözel değerlendirmeleri gerekir. Seçim mekânsal ise, adayların noktasal olduğu durum senaryosunda, konum verileri de burada girdi olarak kullanılır. Çıktı olarak ise uydu haritası bazlı bir konumsal veri tablosu verilir. Daha önce alınan konumsal veri tablosundan farklı olarak burada Bulanık TOPSIS operatörü skor değerleri kolonu ekler ve yeni tabloda skor değerleri de olur (Şekil 6). Daha sonra istenilirse sınıflandırma yöntemi ile skor değerleri gruplara ayrılabilir ve enterpolasyon yöntemleri ile de nokta bazlı verilerden raster haritalar üretilebilir.



Şekil.6 Alternatiflerin Skor Değerlerine Göre Haritada Gösterilmesi

Araştırma kapsamında geliştirilen karar verici bilgileri Bulanık AHP ve Bulanık TOPSIS operatöründe çalışma şekli detaylı bir şekilde anlatılmıştır. Çalışmada aynı şekilde Bulanık DEMATEL ve Bulanık CMA-ES operatörleri süreçleri de benzer şekilde NetCAD Mimariye entegre edilmiştir. Çalışmanın ilerleyen döneminde ise bağımsız bir değişkenin farklı ağırlık değerlerinin sonucu nasıl etkilediği duyarlık analizleri ile belirlenecektir. Sonuç olarak, nokta, alan ve piksel bazlı tematik haritalar üretilecektir. Raster harita şeklinde oluşturulan katmanları birleştiren ve sıralandıran TOPSIS, Bulanık TOPSIS, Weighted Overlay, WLC gibi yöntemlerde kullanılarak karşılaştırmalı uygunluk haritası üretilmiş ve bu haritalar üzerinde en uygun yer seçimini esas alan bir model geliştirilmiş olacaktır.

4. Sonuç ve Tartışma

Bu çalışmada mekansal ve bulanık çok kriterli karar verme yöntemlerini entegre eden bir mekansal karar destek sistemi geliştirilmiştir. Bu sistem ile NetCAD Mimar'a Bulanık AHP, Bulanık DEMATEL, Bulanık CMAES ve Bulanık TOPSIS yöntemlerinin entegre edilmesi sağlanmıştır. Mekan bazlı problemlerin çözümlenmesinde kullanılacak bir model geliştirilerek, uygulamalarda kolaylıkla kullanılabilir. Bu modül karar vericilerin mekansal probleme yönelik tespit ettikleri kriterlerin ağırlıklarının hesaplanmasını ve alternatiflerin performanslarının sıralamasını yapabilmektedir. Tüm modeller için örnek vaka çalışmaları ile uygulamalar test edilmiştir. Bu makalede sadece Bulanık AHP ve Bulanık TOPSIS algoritmalarının kullanıldığı modele yer verilmiştir. Geliştirilen modül, CBS 'nin fonksiyonel yapısının ÇKKV yöntemleri ile tek bir sistem üzerinden takip ve analiz edilebildiği özel bir sürece ve öneme sahiptir. Bu sistemin görsel altyapısının bulunması ile karar vericinin çözmek istediği problemin kavranması kolaylaştırmaktadır. Karar verici NetCAD Mimar üzerinde mevcut bulanık olmayan algoritmalarla, araştırma kapsamında geliştirilen bulanık algoritmalarla yönelik sonuçları karşılaştırabilmektedir. Bu sayede farklı algoritmalar denenerek çözüme ulaşılan problemin sonuçlarının tutarlılığı kıyaslanabilecektir, tematik haritalar bu modellere göre oluşturulabilecek ve karar vericilerin güven seviyesi artırılmış olacaktır. Ayrıca araştırmacılar için problemlerin çözümünde farklı platformların kullanılma ihtiyacı olmamasından dolayı araştırmacılara zaman tasarrufu sağlayacaktır.

Teşekkür

Bu çalışma TÜBİTAK TEYDEB 1501 Proje No:3170954 ile desteklenmektedir.

Kaynakça

- Antunes, P., Karadzic, V., Santos, R., Beça, P. & Osann, A., (2011). Participatory multicriteria analysis of irrigation management alternatives: the case of the Caia irrigation district, Portugal. *Int. J. Agric. Sustain.* 9 (2), 334–349.
- Arentze T.A., Borgers A.W.J. & Timmerman H.J.P, (1996). Integrating GIS into planning process. In: Fisher M, Scholten HJ, and Unwin D (eds), *Spatial Analytical Perspectives on GIS*, pp 187–98. *Taylor & Francis, London, UK*.
- Aydin, N. Y., Kentel, E., & Duzgun, H. S. (2013). GIS-based site selection methodology for hybrid renewable energy systems: A case study from western Turkey. *Energy conversion and management*, 70, 90-106.
- Bakhtiarifar, M., Mesgari, M. S., Karimi, M. & Chehrehghani, A. (2011). Land use change modeling using multi-criteria decision analysis and GIS. *Journal of Environmental Studies*, 37(58); 43- 52.
- Bali, A., Monavari, S.M., Riazi, B., Khorasani, N. & Kheirkhah Zarkesh, M., (2015). A spatial decision support system for ecotourism

- development in Caspian hyrcanian mixed forests ecoregion. *Bol. Ciênc. Geod.* 21 (2), 340–353.
- Barredo JI. (1996). *Sistemas de Información Geográfica y Evaluación Multicriterio en la ordenación del territorio*. Ra-Ma, Madrid, Spain.
- Borouhaki, S., & Malczewski, J. (2008). Implementing an extension of the analytical hierarchy process using ordered weighted averaging operators with fuzzy quantifiers in ArcGIS. *Computers & Geosciences*, 34(4), 399-410.
- Bosque-Sendra J & García RC. 2000. El uso de los sistemas de información geográfica en la planificación territorial. *Anales de Geografía de la Universidad Complutense* 20:49– 67.
- Carver, S. J. (1991). Integrating multi-criteria evaluation with geographical information systems. *International Journal of Geographical Information System*, 5(3), 321-339.
- Chakhar, S. & Martel, J.M., (2003). Enhancing geographical information systems capabilities with multicriteria evaluation functions. *J. Geograp. Inform. Decis. Anal.* 7, 47–71.
- Chakhar, S. & Mousseau, V., (2008). Generation of spatial decision alternatives based on a planar subdivision of the study area. In: Yetongnon, K., Chbeir, R., Dipanda, A. (Eds.), *Advanced Internet Based Systems and Applications, Lecture Notes in Computer Science*, 4879, pp. 137–148.
- Charabi, Y. & Gastli, A. (2011). PV site suitability analysis using GIS-based spatial fuzzy multi-criteria evaluation. *Renewable Energy*, 36(9), 2554-2561.
- Cowen, T. (Ed.). (1988). *The theory of market failure: A critical examination*. George Mason University Press.
- Dai F.C., Lee C.F. & Zhang X.H. (2001). GIS-based geo-environmental evaluation for urban land-use planning: *A case study*. *Engineering Geology* 61:257–71.
- Dantsis, T., Douma, C., Giourga, C., Loumou, A. & Polychronaki, E.A., (2010). A methodological approach to assess and compare the sustainability level of agricultural plant production systems. *Ecol. Ind.* 10, 256–263.
- Dashti, S., Monavari, S. M., Hosseini, S. M., Riazi, B., & Momeni, M. (2013). Application of GIS, AHP, Fuzzy and WLC in island ecotourism development (Case study of Qeshm Island, Iran). *Life Science Journal*, 10(1), 1274-1282.
- Delgado, M. G., & Sendra, J. B. (2004). Sensitivity analysis in multicriteria spatial decision-making: a review. *Human and Ecological Risk Assessment*, 10(6), 1173-1187.
- Densham, P. J., & Goodchild, M. (1989). Spatial decision support systems: A research agenda. *Unknown Journal*, 707-716.
- Defne, Z., Haas, K. A., & Fritz, H. M. (2011). GIS based multi-criteria assessment of tidal stream power potential: A case study for Georgia, USA. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(5), 2310-2321.
- Erden, T., & Coşkun, M. Z. (2011). Acil durum servislerinin yer seçimi: Analitik Hiyerarşi Yöntemi ve CBS entegrasyonu. *İTÜDERGİSİ/d*, 9(6).
- Ertuğrul, İ., & Karakaşoğlu, N. (2008). Comparison of fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS methods for facility location selection. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 39(7-8), 783-795.
- Esmaelian, M., Tavana, M., Santos Arteaga, F. J., & Mohammadi, S. (2015). A multicriteria spatial decision support system for solving emergency service station location problems. *International Journal of Geographical Information Science*, 29(7), 1187-1213.
- Fotheringham AS & Wegener M. (2000). *Spatial Models and GIS*. Taylor & Francis, London, UK.
- Gigović, L., Pamučar, D., Lukić, D., & Marković, S. (2016). GIS-Fuzzy DEMATEL MCDA model for the evaluation of the sites for ecotourism development: A case study of “Dunavski ključ” region, Serbia. *Land Use Policy*, 58, 348-365.
- Gómez-Limón, J.A. & Riesgo, L., (2009). Alternative approaches to the construction of a composite indicator of agricultural sustainability: an application to irrigated agriculture in the Duero basin in Spain. *J. Environ. Manage.* 90, 3345–3362.
- Goodchild, M.F., (1992). Geographical information science. *Int. J. Geograp. Inform. Syst.* 6 (1), 31–45.
- Hassan, H. A., El-Bakry, H. M., & Allah, H. G. A. (2013). Design of Multi-Criteria Spatial Decision Support System (MC-SDSS) for Animal Production. *IAES International Journal of Artificial Intelligence*, 2(3), 117.
- Jakimavičius, M., & Burinskiene, M. (2009). A GIS and multi-criteria-based analysis and ranking of transportation zones of Vilnius city. *Technological and Economic Development of Economy*, 15(1), 39-48.
- Jankowski P. 1995. Integrating geographical information systems and multiple criteria decision-making methods. *International J Geographical Information Systems* 9:251–273.
- Jelokhani-Niaraki, M., & Malczewski, J. (2015). A group multicriteria spatial decision support system for parking site selection problem: *A case study*. *Land Use Policy*, 42, 492-508.

- Joerin F, Th'eriault M, & Musy A. (2001). Using GIS and outranking multicriteria analysis for land-use suitability assessment. *International J Geographical Information Sci* 15:153–74.
- Johnston J. (1999). Geography and GIS. In: Longley PA, Goodchild MF, Maguire DJ, et al. (eds), *Geographical Information Systems*, vol II, pp 39–47. *John Wiley & Sons, Inc, New York, NY, USA*.
- Johnson, M. P. (2005). Spatial decision support for assisted housing mobility counseling. *Decision Support Systems*, 41(1), 296-312.
- Juan, Y. K., Roper, K. O., Castro-Lacouture, D., & Kim, J. H. (2010). Optimal decision making on urban renewal projects. *Management Decision*, 48(2), 207-224.
- Lukashe A.F., Droste R.L. & Warith M.A. (2001). Review of Expert Systems (ES), Geographic Information System (GIS), Decision Support System (DSS), and their applications in landfill design and management. *Waste Management & Res* 19:177–85.
- Mahdavi, A., & Niknejad, M. (2014). Site suitability evaluation for ecotourism using MCDM methods and GIS: Case study-Lorestan province, Iran. *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences*, 4(6), 425-437.
- Malczewski, J. (1996). A GIS-based approach to multiple criteria group decision-making. *International Journal of Geographical Information Systems*, 10(8), 955-971.
- Malczewski, J., (1999). *GIS and Multicriteria Decision Analysis*. John Wiley & Sons, New York.
- Malczewski, J. (2006). GIS-based multicriteria decision analysis: a survey of the literature. *International Journal of Geographical Information Science*, 20(7), 703-726.
- Malczewski, J., (2010). Multiple criteria decision analysis and geographic information systems. In: Figueira, J., Greco, S., Ehrgott, M. (Eds.), *Trends in Multiple Criteria Decision Analysis*. Springer; New York, pp. 369–395.
- Mari, R., Bottai, L., Busillo, C., Calastrini, F., Gozzini, B., & Gualtieri, G. (2011). A GIS-based interactive web decision support system for planning wind farms in Tuscany (Italy). *Renewable Energy*, 36(2), 754-763.
- Moghadam, S. T., Delmastro, C., Lombardi, P., & Corgnati, S. P. (2016). Towards a new integrated spatial decision support system in urban context. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 223, 974-981.
- Mohit, M. A., & Ali, M. M. (2006). Integrating GIS and AHP for land suitability Analysis for Urban Development in a Secondary City of Bangladesh. *Jurnal alam Bina*, 8(1), 1-20.
- Mohd Shamsuddin, N. H., bin Othman, M. S., & bin Selamat, M. H. (2013). Identifying of Potential Crime Area Using Analytical Hierachy Process (AHP) and Geographical Information System (GIS). *International Journal of Innovative Computing*, 2(1).
- Nasehi, S., Karimi, S., & Jafari, H. (2016). Application of Fuzzy GIS and ANP for Wind Power Plant Site Selection in East Azerbaijan Province of Iran.
- Raju, K.S., Duckstein, L. & Arondel, C., (2000). Multicriterion analysis for sustainable water resources planning: a case study in Spain. *Water Resour. Manage* 14, 435–456.
- Ray, D. (2007). *A game-theoretic perspective on coalition formation*. Oxford University Press.
- Coutinho-Rodrigues, J., Simão, A., & Antunes, C. H. (2011). A GIS-based multicriteria spatial decision support system for planning urban infrastructures. *Decision Support Systems*, 51(3), 720-726.
- Sánchez-Lozano, J. M., Teruel-Solano, J., Soto-Elvira, P. L., & García-Cascales, M. S. (2013). Geographical Information Systems (GIS) and Multi-Criteria Decision Making (MCDM) methods for the evaluation of solar farms locations: Case study in south-eastern Spain. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 24, 544-556.
- Santos, L., Coutinho-Rodrigues, J., & Antunes, C. H. (2011). A web spatial decision support system for vehicle routing using Google Maps. *Decision Support Systems*, 51(1), 1-9.
- Silva, S., Alçada-Almeida, L., & Dias, L. C. (2014). Development of a Web-based Multi-criteria Spatial Decision Support System for the assessment of environmental sustainability of dairy farms. *Computers and Electronics in Agriculture*, 108, 46-57.
- Sugumaran, R. & Degroote, J., (2011). *Spatial Decision Support Systems – Principles and practices*. Taylor & Francis Group.
- Sobrie, O. (2011). Implementation of the ELECTRE TRI multicriteria method in an Open Source Geographical Information System. *In 73rd Meeting of the European Working Group Multiple Criteria Decision Aiding (MCDA '73)*, University of Corsica.
- Sobrie, O. & Pirlot, M., (2012). Implementation of the ELECTRE TRI in an Open Source GIS. *European Working Group, Multiple Criteria Decision Aiding, Newsletter. Series 3, n 26, Fall 2012*.
- Sobrie, O., Pirlot, M. & Joerin, F., (2013). Intégration de la method d'aide à la décision ELECTRE TRI dans un système d'information géographique open source. *Rev. Int. Géomat*. 23 (1), 13–38.
- Torkamani, F., Fallah, S., & Saadatmand, M. (2012). How urban managers can use DSS to facilitate decision making process: an application of fuzzy TOPSIS. *Journal of American Science*, 8(5), 162-173.

- Uyan, M. (2013). GIS-based solar farms site selection using analytic hierarchy process (AHP) in Karapinar region, Konya/Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 28, 11-17.
- Van Calker, K., Berentsen, P., Romero, C., Giesen, G. & Huirne, R.,(2006). Development and application of multi-attribute sustainability function for Dutch dairy farming systems. *Ecol. Econ.* 57, 640–658.
- Voogd H. (1983). *Multicriteria Evaluation for Urban and Regional Planning*. Pion Limited, London, UK.
- Yang, J., & Lee, H. (1997). An AHP decision model for facility location selection. *Facilities*.
- Yeh AG-O. (1999). Urban planning and GIS. In: Longley PA, Goodchild MF, Maguire DJ, et al. (eds), *Geographical Information Systems*, vol II, pp 877–88. *John Wiley & Sons, New York, NY, USA*.
- Wann-Ming Wey, K.-Y. W. (2007). Interdependent urban renewal project selection under the consideration of resource constraints. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 35(1), 122 - 147.