

Güneş Enerji Santralleri İçin Uygunluk Haritasının Elde Edilmesi: Bir Uygulama

Hasan EROĞLU¹

ÖZET: Günümüzde güneş enerjisi, hayatımızın en önemli ve kaçınılmaz bir parçası haline gelen yenilenebilir enerji kaynaklarından (YEK) biridir. Her geçen gün dünya üzerindeki güneş enerji santrali (GES) sayısı katlanarak artmaktadır. Uygulama sayısı artan bu santrallerin çevresel, ekonomik ve sosyal açıdan en uygun yer tayinlerinin yapılması oldukça büyük önem arz etmektedir. Bazı durumlarda santral kurulum yerini etkileyen bir önemli kriterin bile göz ardı edilmesi oldukça büyük zararlara neden olabilmektedir.

Bu çalışmanın amacı, literatürdeki çalışmalarda eksikliği tespit edilen ve GES kurulumunu etkileyen kriterlerin önerilmesi, GES kurulumunu etkileyen tüm kriterlerin birbirlerine göre önem derecelendirme değerlerinin bulunması ve kriterlere ait örnek bir çalışma alanında coğrafi veriler yardımıyla GES için uygunluk haritasının elde edilmesidir. Kriterlerin ağırlık değerlerinin bulunmasında Bulanık Analitik Hiyerarşi Yöntemi (FAHP), verilerin işlenmesinde de coğrafi bilgi sistemleri kullanılmıştır. Bu amaçla 14 ana kriter ve bu kriterlere ait 70 alt kriter konuyla ilgili uzman görüşleri, anketler ve literatürdeki çalışmalardan yararlanılarak belirlenmiştir. Çalışmanın sonunda, çalışma alanında GES'ler için en uygun, uygun ve izin verilmeyen yerlerin gösterildiği uygunluk haritası elde edilmiştir. Bu çalışma, GES'lerin yer tespitinde daha doğru, çevresel, ekonomik ve sosyal GES santrali kurulumunu netice veren geniş yelpazedeki kriterlerle araştırmacılara faydalı olacaktır.

Anahtar Kelimeler: Güneş enerjisi santrali yer tayini, Yenilenebilir enerji kaynağı, Bulanık analitik hiyerarşi yöntemi, Coğrafi bilgi sistemleri, Uygunluk haritası.

The Suitability Map Determination for Solar Power Plants: A Case Study

ABSTRACT: Today, the solar energy is one of the renewable energy sources (RES) which is the most important and inevitable part of our lives. Every day the number of the solar power plants (SPP) is growing exponentially. The determination of the most suitable place in terms of environmentally, economically and socially for these plants is very important. In some cases, even ignoring one important criteria can create important damages.

The aim of this study is proposing the criteria determined as missing in the literature and the criteria affects the installation of the solar power plants, finding the importance weighting values of these criteria and determination of the suitability map for solar power plants with the help of the geographical data related to the criteria. The fuzzy analytical hierarch process is used in weighting of the criteria, the Geographical information systems are also used in data processing. For this purpose 14 main criteria and 70 sub-criteria are determined according to the opinion of experts related to the topic, surveys and studies in literature. At the end of the study, the suitability map showing the most suitable, suitable and disallowed regions are obtained. This study will be helpful to the researchers with a wide range criteria that will result more accurate, environmental, economic and social solar power plant siting studies.

Keywords: Solar power plant siting, Renewable energy sources, Fuzzy analytical hierarch process method, Geographical information systems, Suitability map.

¹ Hasan EROĞLU (0000-0002-7233-5569), Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Gümüşhane, Türkiye
Sorumlu yazar/Corresponding Author: Hasan EROĞLU, hasan.eroglu@gumushane.edu.tr

GİRİŞ

Günümüzde insanların temiz enerjiye yönelimleri nedeniyle yenilenebilir enerji kaynaklarında (YEK) yararlanma oldukça hızlanmıştır. YEK'lerin en önemli tercih sebeplerinden biri, diğer klasik enerji kaynaklarına (EK) göre çevreye daha az zararlı olmalarıdır. Diğer klasik EK'ların zamanla tükenmesi de YEK'lerin önemini arttırmaktadır (Uyan, 2013). YEK'lerin son yıllarda ön plana çıkmasıyla araştırmacılar da literatürde YEK'lerle ilgili oldukça geniş kapsamlı çalışmalar yapmaya başlamışlardır. YEK'lere olan ihtiyacın her geçen gün daha da artması ve yeni teknolojilerin ortaya çıkmasından, yapılan bu çalışmaların daha da güncelliklerini sürdüreceği öngörülmektedir.

Güneş enerjisi YEK'ler içinde en yaygın uygulamaya sahip olanlardan biridir. Güneş Enerji Santralleri (GES) çevresel avantajlar, hükümet destekleri, kurulum yerinin esnek olması ve taşınabilirlik açısından en hızlı yayılan enerji santrali olarak karşımıza çıkarmaktadır (Uyan, 2013). Hızla uygulaması artan bu enerji santralleri için en uygun yerin tespiti önemli bir problem olarak karşımıza çıkmaktadır. Kurulması muhtemel santralin kurulumunu etkileyecek tüm kriterlerin ya da faktörlerin belirlenmesi, yapılması gereken ilk iştir. En ince ayrıntısıyla santralin kurulumunu etkileyen tüm kriterlerin tespit edilebilmesi daha çevreci, ekonomik ve sosyal yönden avantajlı tercihlerin yapılabilmesini sağlamaktadır. Literatürde GES'lerin kurulumu için gerekli kriterlerin irdelendiği birçok çalışma karşımıza çıkmaktadır (Aydın, 2009; Charabi ve Gastli, 2011; Kengpol ve ark., 2013; Sánchez-Lozano ve ark., 2013; Uyan, 2013).

Tespit edilen kriterlerin birbirlerine göre ne kadar önemli olduklarını ifade eden önem derece değerlerinin ya da ağırlık değerlerinin hesaplanması, insan beyni için neredeyse imkânsızdır. Bu değerlendirmenin yapılabilmesi için çoklu kriter karar verme yöntemleri (ÇKKVY) geliştirilmiştir. Bu yöntemler birden çok alternatifin birden çok kritere göre değerlendirilmesinde kullanılmaktadır (Sánchez-Lozano ve ark., 2013). Analitik hiyerarşi yöntemi (AHP) ÇKKVY'den literatürde yaygınlıkla kullanılanlardan biridir. AHP'de amaca göre yapılan ikili karşılaştırmalar tercih edicilerin işini oldukça kolaylaştırmaktadır. Ancak,

tercih edicilerin tercihlerinde çoğunlukla kesinlik olamaması nedeniyle, bulanık analitik hiyerarşi yöntemi (FAHP) geliştirilmiştir. Kriterlere ait büyük boyuttaki verilerin işlenmesi ve analizi, insan beyni açısından imkânsızdır. Verilerin dijital ortamda analiz edilmesi, ağırlık değerlerinin atanması, tüm verilerin bir bütün olarak değerlendirilip üst üste bindirilerek toplanması gibi işlemlerin coğrafi bilgi sistemleri (CBS) ortamında yapılabilmesi ve hızlı sonuçlar vermesi (Geymen, 2017; Küçükönder ve ark., 2013), en uygun yer tayini çalışmalarında CBS'nin kullanımını yaygınlaştırmıştır.

Güneş santrali yer tayini ile ilgili literatürde Charabi vd. (Charabi ve Gastli, 2011) GES için Umman'da dokuz kriter ile CBS'ye entegre edilmiş bir bulanık mantık sıralı ağırlık verme modülü geliştirmişlerdir. Aydın (Aydın, 2009) Bulanık mantık yöntemi ve CBS kullanarak seçilen örnek bir bölgede güneş ve rüzgar santralleri için en uygun yer tayini çalışması yapmıştır. Bu çalışmada, ana kriterlere ait ara değerler ya da alt kriterler dikkate alınmadan kriterlerin yalnızca "kabul edilebilir" ya da "kabul edilemez" olarak değerlendirilmesi, en uygun yer tayini çalışması olarak bazı önemli alt kriterlerin çalışmaya dahil edilememesine ya da göz ardı edilmesine neden olmuştur. Sanchez-Lozano vd. (Sánchez-Lozano ve ark., 2013) İspanya'nın güneydoğusunda GES için en uygun yer tayininde CBS ve Karar noktalarının ideal çözüme yakınlığı tekniği (TOPSİS) ve AHP yöntemlerini kullanmıştır. Çalışmada on ana kriter kullanılırken her hangi bir alt kriter kullanılmamıştır. Uyan (Uyan, 2013) Konya'da kurulumu muhtemel GES için beş ana kriter ve bunların alt kriterlerini kullanarak "en uygun", "uygun" ve "az uygun" yerlerin tespitini yapmıştır. Kengpol vd. (Kengpol ve ark., 2013) FAHP, TOPSİS yardımıyla GES yer tayini çalışmaları için bir karar verme ara yüzü geliştirmişlerdir.

Literatürde görüldüğü üzere CBS ve ÇKKV yöntemlerinin birlikte kullanımı oldukça faydalıdır. Ancak kullanılan kriter ve alt kriterler yeterli değildir. Örneğin "Flora&Fauna" ana kriteri ve bu kritere ait "önemli bitki türleri", "tropikal alanlar" gibi alt kriterleri, toprak türü, jeolojik yapı, heyelan ve bu gibi önemli kriterlerin alt kriterleri literatürdeki çalışmalara dahil edilmemiştir. Ekonomik, çevresel ya da sosyal anlamda daha uygun GES kurulumu için hiçbir kriterin göz ardı edilmemesi oldukça önemlidir. Çalışmanın

devamındaki ikinci bölümde, GES en uygun yer tayini için kullanılan kriterler ve alt kriterler verilmiştir. Üçüncü bölümde, bu kriterlerin FAHP yöntemiyle önem derecelendirilmesi yapılmıştır. Dördüncü bölümde, CBS yardımıyla kriterlere ait verilerin işlenmesi ve uygunluk haritasının elde edilmesi gösterilmiştir. Beşinci bölümde çalışmadan elde edilen sonuçlar verilmiştir.

MATERYAL VE YÖNTEM

Kriterlerin Tespiti

GES yer tayini çalışmalarında çevresel, ekonomik ve sosyal olarak negatif etkilerin en aza indirgenebilmesi için çalışmayı etkileyen hiçbir kriterin göz ardı edilmemesi gerekmektedir. Örneğin “Flora&Fauna” kriteri ve “önemli bitki türleri” ve “tropik alanlar” gibi bu kriterin alt kriterleri GES kurulum yerini etkileyen oldukça önemli kriterlerdendir. Literatürde GES’lerin yer tayiniyle ilgili yapılmış bir çok çalışmada toprak yapısı, jeoloji, heyelan, kayalık alanlar, buz yoğunluğu, deprensellik vb. kriterler ve bunlara ait alt kriterler çalışmaya dahil edilmemiştir.

Diğer yandan, konuyla ilgili farklı çalışmalarda kriterler farklılık göstermektedir. Örneğin “kentsel alanlara güvenli uzaklık” kriteri (Baban ve Parry, 2001)’de 2000 m olarak kabul edilirken (Hansen, 2005)’te 500-1500 m, (van Haaren ve Fthenakis, 2011)’de 1000-2000 m, (Aydın ve ark., 2010)’da 1000-3000 m olarak kabul edilmiştir. Bu farklılıklar araştırmacılar için yanıltıcı bir durum olarak karşımıza çıkmaktadır. Bazı çalışmalarda (Baban ve Parry, 2001; Aydın, 2009; Aydın ve ark., 2010), kriterler yalnızca “kabul edilebilir” ya da “kabul edilemez” olarak sınıflandırılmıştır. Bazılarında ise oldukça dar bir kriter yelpazesi kullanılmıştır (Mari ve ark., 2011; van Haaren ve Fthenakis, 2011). GES yer tayini için hiçbir kriterin göz ardı edilmeden daha doğru bir çalışma yapılabilmesi için bu çalışmada, kriterlerin belirlenmesi aşamasında elektrik ve doğalgaz iletim hattı güzergah belirleme çalışmaları (Monteiro ve ark., 2005; Houston ve Johnson, 2006; Yıldırım ve Nisanci, 2010; Demircan ve ark., 2011; Eroğlu ve Aydın, 2015) ve anketlerinden (Houston ve Johnson, 2006), literatürdeki GES ile birlikte diğer enerji santralleri yer tayini çalışmalarından (Aydın, 2009; Charabi ve

Gastli, 2011; Kengpol ve ark., 2013; Sánchez-Lozano ve ark., 2013; Uyan, 2013) yararlanılmıştır.

Belirlenen Kriterler

Güneş potansiyeli

Güneş potansiyeli, kurulacak santralden elde edilecek enerjiyi doğrudan etkilediği için en önemli kriterlerden biridir. Bu kriter birçok çalışmada irdelenmiştir (Charabi ve Gastli, 2011; Effat, 2013; Kengpol ve ark., 2013; Sánchez-Lozano ve ark., 2013; Uyan, 2013).

Yerleşim yerleri

Güneş enerji santrallerinin yerleşim yerlerine yakın olması çevresel olarak negatif etkiler doğurmaktadır (Uyan, 2013). Bu nedenle güneş panellerinin yerleşim yerlerine çok yakın olması istenilmeyen bir durumdur. Ancak GES’lerin yerleşim yerinden çok uzakta olması enerji iletim masraflarını arttıracığından GES’lerin yerleşim yerine ideal bir uzaklıkta olması istenmektedir. Yerleşim yerleri kriteri birçok enerji santrali yer tayini çalışmasında kullanılmıştır (Baban ve Parry, 2001; Aydın ve ark., 2010; Charabi ve Gastli, 2011; Uyan, 2013).

Sulak alanlar

Günümüzde gerek güneş gerekse rüzgar santralleri sulak alanlar üzerinde kurulabilse de enerji santrallerinin kurulum yerinde sulak alanların bulunması, santral kurulum maliyetlerini negatif yönde etkileyecektir. Diğer bir etken de sulak alanlarda bulunan önemli bitki ve hayvan türlerinin projenin seyrinden etkilenmesidir. Sulak alanlar literatürdeki birçok çalışmada kullanılmıştır (Aydın ve ark., 2010; van Haaren ve Fthenakis, 2011).

Heyelan

Heyelan alanları tüm mühendislik yapılarını negatif yönde etkilemektedir. Tesis kurulumu yapılmadan önce heyelan altyapısı göz önünde bulundurulmalıdır. Heyelan kriteri bazı güzergah çalışmalarında (Yıldırım ve Nisanci, 2010; Eroğlu ve Aydın, 2015) kullanılmasına karşın GES yer tayini çalışmalarında kullanılmamıştır.

Jeoloji

Jeolojik toprak yapısı, tüm mühendislik çalışmalarında olduğu gibi, GES yer tayini

çalışmalarında da önem arz etmektedir. Santralin kurulacağı alanın jeolojik yapısı proje maliyetini doğrudan etkilemektedir. Bazı mühendislik çalışmalarının (Yıldırım ve Nisanci, 2010; Defne ve ark., 2011; Choudhary ve Shankar, 2012; Eroğlu ve Aydın, 2015) haricinde jeoloji kriteri GES yer tayini çalışmalarında kullanılmamıştır.

Eğim

GES kurulumunda eğimin çok olması, istenmeyen bir durumdur. Eğimin az olması ve güney istikametinde olması güneşlenme açısından arazinin önemini arttıran bir etmendir (Effat, 2013). Bu kriter GES yer tayini çalışmalarında nadir olarak kullanılmamıştır (Aydın, 2009; Kengpol ve ark., 2013).

Rekreasyon

Turistik alanlar, kültürel olarak değerli alanlar, mesire yerleri vb. alanlara GES ve enerji üretim santralleri kurulmaması gerekmektedir. Bu kriterin göz ardı edilmesi GES kurulumun sürecini olumsuz etkileyecektir.

Rekreasyon kriteri bazı mühendislik çalışmalarında (Yıldırım ve Nisanci, 2010; Defne ve ark., 2011; Eroğlu ve Aydın, 2015) kullanılmasına karşın GES yer tayini çalışmalarında kullanılmamıştır.

Kayalık alanlar

GES ve diğer santral kurulumunda arazinin kayalık olması, kurulum masraflarını doğrudan arttırmaktadır. Çoğu zaman zeminin düzleştirilmesinde patlayıcı malzemeler kullanılmaktadır. Ayrıca kurulu santralin çevresindeki kayalık alanlar santralin bakım masraflarını da arttırmaktadır. GES santralleri kurulum çalışmalarında kayalık alanlar kriteri kullanılmamıştır.

Flora-Fauna

Bu kriter mühendislik yapılarında önem arz eden kriterlerden biridir. Günümüzde belirli bölgelerde nadir olarak bulunan biyolojik olarak önemli bitki ve hayvan türlerini barındıran flora ve fauna alanları, GES kurulumu yapılmadan önce en uygun yer tespiti çalışmalarında göz ardı edilmemesi gereken önemli alanlardandır.

Flora-fauna kriteri bazı mühendislik çalışmalarında (Yıldırım ve Nisanci, 2010) kullanılmasına karşın GES için literatürdeki çalışmalarda kullanılmamıştır.

Ormanlık alanlar

Her geçen gün önemi artan orman alanları mühendislik projelerinin kurulum yeri seçiminde önemli kriterlerdendir. Enerji santralleri kurulumu için istenen çevre etki değerlendirme raporlarında da ormanlık alanların mümkün olduğunca tahrip edilmemesi istenilmektedir. Ormanlık alanlar kriteri literatürdeki bazı GES yer tayini çalışmalarında (Kengpol ve ark., 2013; Uyan, 2013) kullanılmamıştır.

Yollara uzaklık

Bir elektrik santralının en yakın yola olan uzaklığı santralin bakım ve onarım masrafları açısından önem arz etmektedir. İlk kurulumda tesise ulaşımın zor olması kurulum masraflarını arttıracak gibi ilerleyen yıllarda özellikle kış şartlarında bakım ve arıza onarım giderlerini arttıracaktır. Bu kriter literatürdeki bazı GES yer tayini çalışmalarında kullanılmamıştır (Charabi ve Gastli, 2011; Sánchez-Lozano ve ark., 2013; Uyan, 2013).

Şebekeye uzaklık

Kurulması muhtemel santralin elektrik şebekesine olan uzaklığı enerji iletim masraflarını etkileyecektir. Daha uzun iletim hatları daha çok maliyet olarak karşımıza çıkacaktır. Şebekeye uzaklık kriterine bazı çalışmalarda (Baban ve Parry, 2001) değinilmiştir.

Toprak

Toprak yapısı GES ve diğer mühendislik yapılarının kurulumunda göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Verimli tarım arazilerinden kaçınılması daha çok toprak kalitesinin düşük olduğu yerler tercih edilmelidir. Toprak kriteri literatürdeki GES yer tayini çalışmalarında kullanılmamıştır.

Buz yükü bölgesi

Genellikle buz yükü kriteri enerji nakil hattı proje hesaplamalarında iletim hattına ek buz yükü oluşumu nedeniyle kullanılmaktadır. Ancak kış koşulları derecesinin, tüm enerji santrallerinin bakım-onarımını ve arızalanma yüzdesini etkilemesi dolayısıyla enerji santralleri yer tayini çalışmalarında da bir kriter olarak değerlendirilmesi gerekmektedir. Buz yükü bölgesi kriteri literatürdeki GES yer tayini çalışmalarında kullanılmamıştır.

Yukarıda belirlenen tüm kriterler ve bu kriterlere ait alt kriterler Çizelge 1’de gösterilmiştir.

Çizelge 1. GES yer tayini için belirlenen kriter ve alt kriterler.

Güneş potansiyeli	Sulak alanlar	Heyelan	Jeoloji	Yerleşim yerleri	Eğim
1400-1450 kWh/m ²	< 100 m	Aktif	Asit ortaç itrusivler	<2 km	<30
1450-1500 kWh/m ²	100-1 km	Potansiyel	Bazik-Ultrabazikler	2 – 5 km	3 – 50
1500-1550 kWh/m ²	1 – 2 km	Eski	Metamorfitletler	5 – 10 km	5 – 100
1550-1600 kWh/m ²	2 – 5 km	Diğer	Volkanitler	10 – 40 km	10 – 200
1600-1650 kWh/m ²	>5 km		Sedimanter kayalar	> 40 km	>200
1650-1700 kWh/m ²					
Rekreasyon	Ormanlık Alanlar	Flora-Fauna	Yollara uzaklık	Şebekeye uzaklık	Toprak
Koruma alanları	< 500 m	<500 m	< 100 m	<500 m	1. Sınıf toprak
Yaylalar	100-1 km	500m – 1 km	100 m – 1 km	500m – 1 km	2. Sınıf toprak
Diğer	1 – 2 km	1 – 5 km	1 – 3 km	1 – 5 km	3. Sınıf toprak
	2 – 5 km	>5 km	3 – 5 km	5 – 10 km	4. Sınıf toprak
	>5 km		5 – 10 km	>10 km	5. Sınıf toprak
			> 10 km		6. Sınıf toprak
					7. Sınıf toprak
					8. Sınıf toprak
		Buz Yüğü Bölgesi	Kayalık Alanlar		
		1. Bölge	0 – 500 m		
		2. Bölge	500 m – 1 km		
		3. Bölge	1 – 10 km		
		4. Bölge	> 10 km		
		5. Bölge			

Kriterlerin FAHP ile Ağırlık Derecelendirmelerinin Yapılması

Bulanık mantığın klasik AHP ile birleştirilmesiyle elde edilen FAHP, karar vericilerin karar vermelerinde daha fazla esneklik sağladığından literatürde sıklıkla kullanılmaktadır. FAHP yönteminde Klasik AHP yönteminde kullanılan ikili karşılaştırmalar, Çizelge

2’de gösterilen (Eroğlu ve Aydın, 2015) üçgensel bulanık sayılar kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Çalışmada kullanılan FAHP yöntemi hesaplamaları Microsoft Excel ortamında yapılmıştır. FAHP işlem adımları literatürdeki ilgili çalışmalara göre yapılmıştır (Özdağoğlu ve Özdağoğlu, 2007; Heo ve ark., 2010). FAHP’ye göre hesaplanan kriter ve alt kriter yüzdeleri Çizelge 3’te gösterilmektedir.

Çizelge 2. FAHP’de kullanılan değerlendirme ölçeği.

Dilsel ölçek	Üçgensel Bulanık Sayılar	Üçgensel Bulanık Sayı Eşleniği
Eşit derecede önemli	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)
Biraz daha fazla önemli	(1, 3/2, 2)	(1/2, 2/3, 1)
Kuvvetli derecede önemli	(2, 5/2, 3)	(1/3, 2/5, 1/2)
Çok kuvvetli derecede önemli	(3, 7/2, 4)	(1/4, 2/7, 1/3)
Tamamıyla önemli	(4, 9/2, 5)	(1/5, 2/9, 1/4)

Çizelge 3. FAHP ile hesaplanan Kriter ağırlık değerleri.

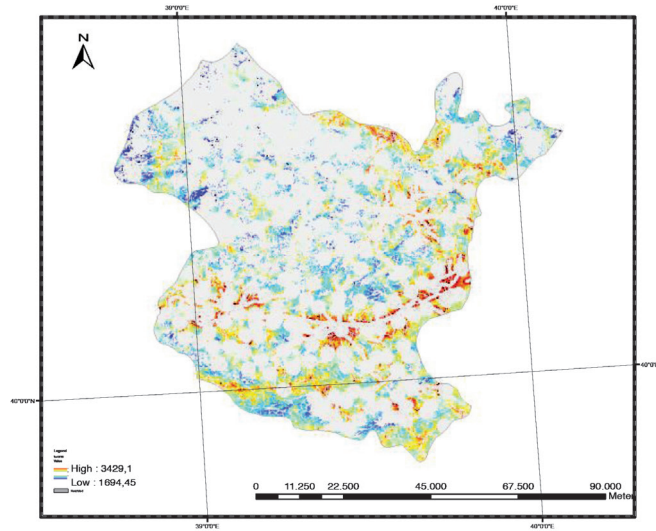
Güneş potansiyeli (% 19,0311)		Sulak alanlar (% 5,94)		Heyelan (% 3,89)	
1400-1450 kWh/m ²	9.83	< 100 m	İzin Verilmeyen	Aktif	İzin Verilmeyen
1450-1500 kWh/m ²	12.58	100-1 km	14.48	Potansiyel	18.55
1500-1550 kWh/m ²	13.85	1 - 2 km	21.74	Eski	26.90
1550-1600 kWh/m ²	15.63	2 - 5 km	29.44	Diğer	44.37
1600-1650 kWh/m ²	20.67	>5 km	34.33		
1650-1700 kWh/m ²	27.45				
Rekreasyon (% 2.51)		Ormanlık Alanlar (% 6.91)		Flora-Fauna (% 4.32)	
Koruma alanları	12.45	< 500 m	İzin Verilmeyen	<500 m	İzin Verilmeyen
Yaylalar	27.31	100-1 km	6.21	500m - 1 km	15.69
Diğer	60.23	1 - 2 km	18.33	1 - 5 km	22.89
		2 - 5 km	32.94	>5 km	61.42
		>5 km	42.53		
Yerleşim yerleri (% 6.91)		Eğim (% 6.91)		Buz Yükü Bölgesi (% 2.51)	
<2 km	İzin Verilmeyen	<30	50.68	1. Bölge	29.49
2 - 5 km	10.23	3 - 50	26.52	2. Bölge	24.73
5 - 10 km	29.87	5 - 100	15.62	3. Bölge	19.79
10 - 40 km	35.04	10 - 200	7.17	4. Bölge	15.02
> 40 km	24.85	>200	İzin Verilmeyen	5. Bölge	10.98
Şebekeye uzaklık (% 13.46)		Toprak (% 5.83)		Jeoloji (% 6.63)	
<500 m	İzin Verilmeyen	1. Sınıf toprak	6.95	Asit ortaç itrusivler	8.60
500m - 1 km	44.37	2. Sınıf toprak	8.65	Bazik-Ultrabazikler	12.23
1 - 5 km	26.90	3. Sınıf toprak	9.48	Metamorfitletler	17.58
5 - 10 km	18.55	4. Sınıf toprak	11.96	Volkanitler	27.97
>10 km	10.18	5. Sınıf toprak	12.03	Sedimanter kayaçlar	33.61
		6. Sınıf toprak	14.51		
		7. Sınıf toprak	16.37		
		8. Sınıf toprak	20.05		
Kayalık Alanlar (% 5.94)		Yollara uzaklık (% 9.15)			
0 - 500 m	15.97	< 100 m		İzin Verilmeyen	
500 m - 1 km	24.60	100 m - 1 km		41.79	
1 - 10 km	28.64	1 - 3 km		31.36	
> 10 km	30.80	3 - 5 km		12.86	
		5 - 10 km		9.95	
		> 10 km		4.03	

BULGULAR VE TARTIŞMA

CBS, mekana dayalı karmaşık planlama ve yönetim problemlerinin çözümünde etkin çözümler sağlamaktadır. Coğrafi verilerin dijital olarak depolanması, işlenmesi ve analiz edilmesi CBS sistemleriyle mümkün olabilmektedir. Belirlenen kriterlere göre verilerin bir bütün olarak ele alınarak analizi ve işlenmesi insan beyni için mümkün değildir. GES için en uygun yer tayini problemi çözümünde de CBS sistemleri, kullanıcının yükünü oldukça hafifletmektedir. Bu çalışmada, verilerin toplanması, dijitalleştirilmesi, düzenlenmesi, piksel tabanlı formata dönüştürülmesi, ağırlık değerlerinin veri tabanlarına girilmesi ve uygunluk haritasının elde edilmesi gibi tüm CBS işlemleri literatürde yaygın olarak kullanılan ArcGIS Desktop 10 yazılımı ile gerçekleştirilmiştir.

Örnek çalışma bölgesi olarak Gümüşhane ili tercih edilmiştir. Çalışmada kullanılan kayalık alanlar, ormanlık alanlar, jeoloji, rekreasyon, toprak, heyelan, buz yükü bölgesi gibi bazı veriler dijitalleştirilmiş; sulak alanlar, yerleşim yerleri ve flora & fauna gibi bazı veriler ise ilgili kurumlardan temin edilmiştir. Eğim, yollara uzaklık, şebekeye uzaklık gibi bazı veriler ise CBS ortamında tampon (buffer), birleşim

(union), dönüşüm (conversion), eğim (slope), kesme (clip) gibi araçlar yardımıyla elde edilmiştir. Kriter ağırlık değerleri tüm kriterlere ait dijital verilerin veri tabanlarına atanarak verilerin piksel tabanlı formata dönüşümleri gerçekleştirilmiştir. Piksel tabanlı haritada her bir piksel 200 m x 200 m boyutunda bir alanı ifade etmektedir. Kriterler içindeki "izin verilmeyen" alanlar, CBS ortamında geçişin mümkün olmadığını ifade eden "No data" değeri ile sınıflandırılmıştır. CBS ortamındaki Piksel hesaplama (Raster Calculator) fonksiyonu yardımıyla işlenmiş ve kriter ağırlık değerleri girilmiş veriler, üst üste toplanarak uygunluk haritası elde edilmiştir. Piksel hesaplama fonksiyonunda değer almış herhangi bir piksel ile "No data" değerli herhangi bir piksel üst üste toplandığında, bir sayının sıfırla çarpılmasıyla sıfır elde edilmesi gibi "No data" değerli bir piksel oluşur. Bu durum gerçek hayatta, herhangi bir kriter açısından üzerinden geçilmesi uygun olmayan bir alanın, başka bir kriter açısından geçilmesi mümkün olsa bile geçilemeyen bölge olarak kabul edilmesi anlamına gelmektedir. Tüm veriler, CBS ortamında piksel hesaplama fonksiyonu ile üst üste bindirilerek Şekil 1'de gösterilen Gümüşhane ili güneş santrali kurulum haritası elde edilmiştir.



Şekil 1: Gümüşhane ili güneş enerji haritası.

Şekil 1'deki haritanın oluşturulmasında kullanılan tüm verilere ait birleştirilmiş haritalar Şekil 2 ve 3'te gösterilmiştir.

Yukarıdaki iki şekildeki harita üzerinde piksel değerleri çeşitli renklerle gösterilmiştir. Şekil 2 ve

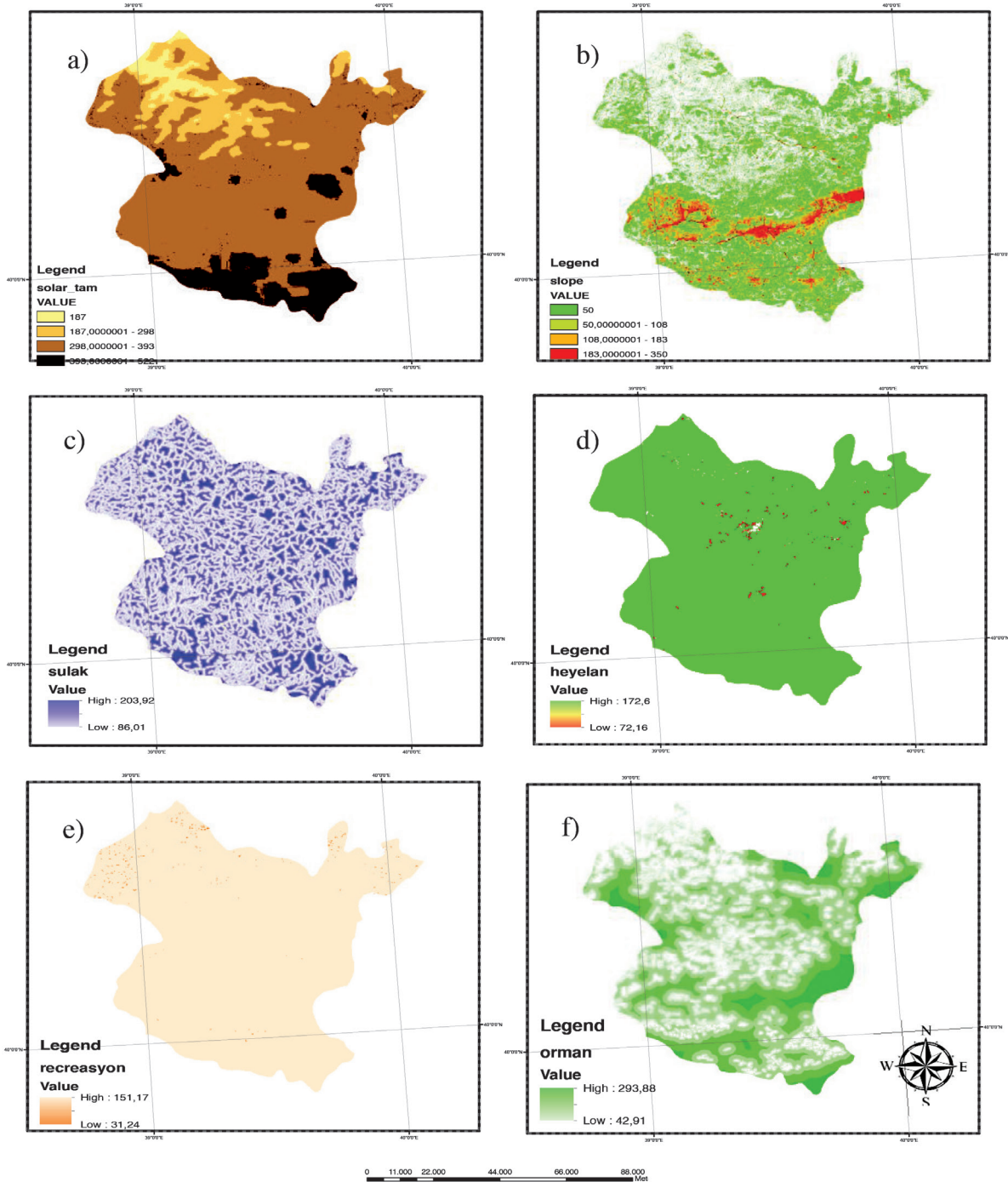
3'teki haritalarda ana kriterlere ait haritalar, alt kriter haritalarını içermektedir.

Şekil 1'deki uygunluk haritasında, tüm kriter ağırlıklarının içeren haritaların piksel değerlerinin konumsal olarak toplam değerleri vardır. Bu harita

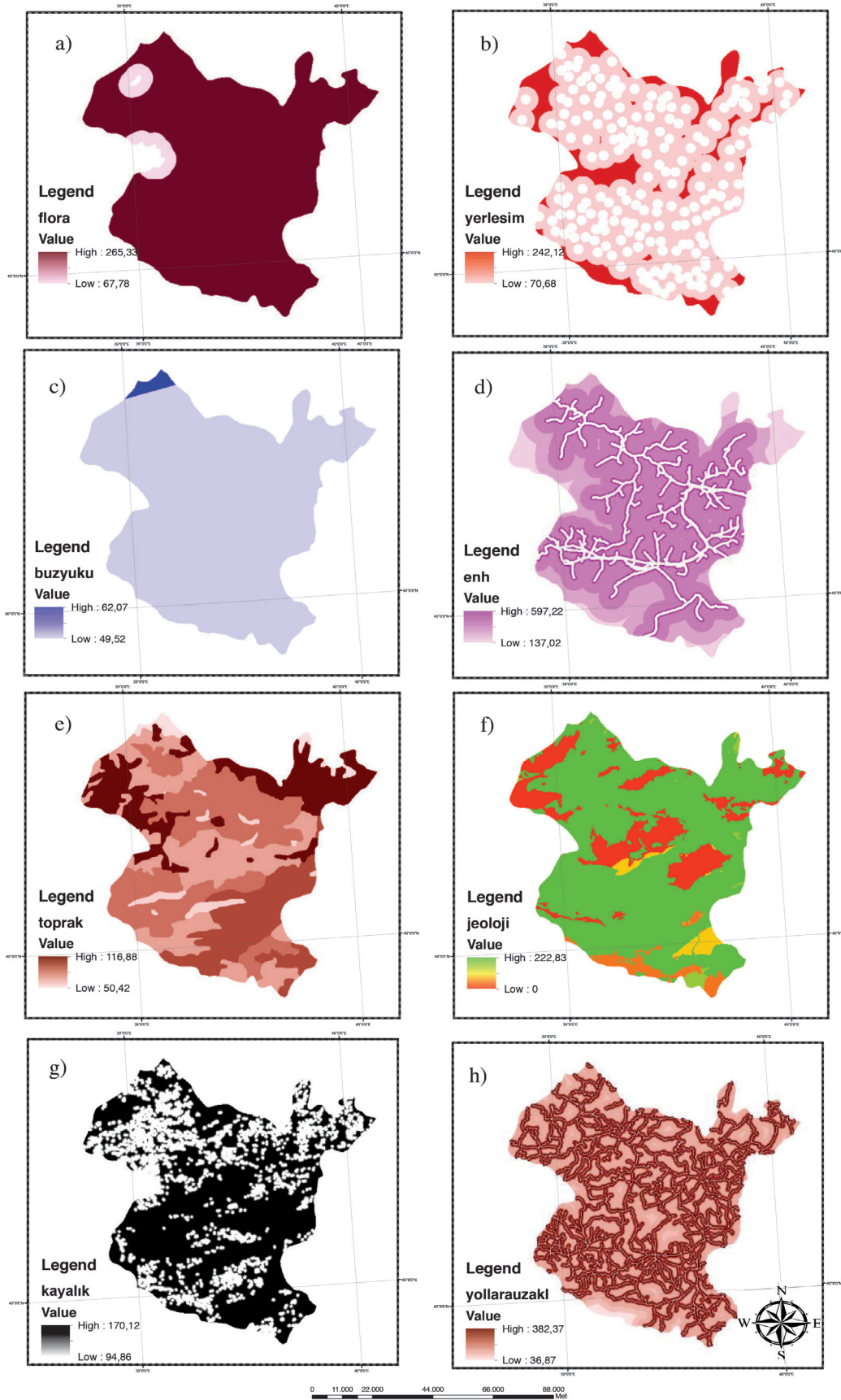
üzerinde izin verilmeyen bölgeler hariç en düşük piksel değerli alan 1694 ağırlık değerine sahiptir.

En yüksek piksel değerli yani GES kurulumu için en elverişli alan ise 3429 ağırlık değerine sahiptir. Uygunluk haritası üzerinde GES kurulumu için elverişsiz alanlardan elverişli alanlara doğru gösterim, mavi renk tonundan kırmızı renk tonuna doğru yapılmıştır. GES için hiçbir şekilde kullanılmaması gereken alanlar ise gri renkle gösterilmiştir.

Şekil 1'deki uygunluk haritası üzerinde, piksel değeri 3000 değerinin üzerinde olan alanlar en uygun alanlar olarak, piksel değeri 2700 ile 3000 arasında kalan alanlar uygun alanlar olarak, piksel değeri 2700 değerinin altında kalan alanlar ise kurulan tesisin verimliliği ve bu çalışmada bahsedilen çevresel ekonomik ve sosyal kriterler açısından uygun olmayan alanlar olarak değerlendirilmektedir.



Şekil 2. Güneş haritasının oluşturulmasında kullanılan tüm verilere ait birleştirilmiş haritalar (a) Güneş , b) Eğim, c) Sulak alanlar, d) Heyelan, e) Rekreasyon, f) Orman).



Şekil 3. Güneş haritasının oluşturulmasında kullanılan tüm verilere ait birleştirilmiş haritalar (a)Flora-fauna , b) Yerleşim, c) Buz yükü, d) Enerji nakil hatları, e) Toprak, f) Jeoloji, g)Kayalık, h)Yollara uzaklık).

SONUÇ

Bu çalışmada, GES için en uygun yerin belirlenmesinde literatürde bulunan bazı kriterlerin yanında, literatürde GES için kullanılmayan ancak gerekli bazı kriterlerin tespiti yapılmıştır. Önerilen yeni kriterler ile tüm alt kriterlerin birbirlerine göre önem derece değerleri FAHP yöntemiyle bulunmuştur. Örnek bir çalışma alanında kriterlere ait dijital veriler yardımıyla CBS ortamında uygulama çalışması yapılmıştır. Yapılan uygulamada, çalışma alanının tüm dijital verileri kriter ağırlık değerlerine göre işlenerek üst üste katmanlar halinde birleştirilerek

muhtemel GES için Şekil 1'deki uygunluk haritası elde edilmiştir.

Uygunluk haritası üzerinde çalışma alanı için GES kurulumuna izin verilemeyen alanlar belirtilmiştir. Toplam ağırlık değerlerinden, uygunluk haritası üzerinde GES kurulumunun en uygun ve uygun olduğu alanlar gösterilmiştir. Bu çalışma ile literatürdeki GES kurulum yeri belirleme çalışmalarında daha geniş kriterlerin kullanılmasına katkı sağlanması hedeflenmektedir. Ayrıca bu çalışma, örnek çalışma alanında kurulması muhtemel GES için bir ön çalışma teşkil etmektedir.

KAYNAKLAR

- Aydin NY, 2009. GIS-Based Site Selection Approach for Wind and Solar Energy Systems: A Case Study from Western Turkey, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora tezi.
- Aydin NY, Kentel E, Duzgun S, 2010. GIS-based environmental assessment of wind energy systems for spatial planning: A case study from Western Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14 (1):364–373.
- Baban SM., Parry T, 2001. Developing and applying a GIS-assisted approach to locating wind farms in the UK. *Renewable Energy*, 24 (1):59–71.
- Charabi Y, Gastli A, 2011. PV site suitability analysis using GIS-based spatial fuzzy multi-criteria evaluation. *Renewable Energy*, 36 (9): 2554–2561.
- Choudhary D, Shankar R, 2012. An STEEP-fuzzy AHP-TOPSIS framework for evaluation and selection of thermal power plant location: A case study from India. *Energy*, 42 (1): 510–521.
- Defne Z, Haas K a., Fritz HM, 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.
- Demircan S, Aydin M, Durduran SS, 2012. Finding optimum route of electrical energy transmission line using multi-criteria with Q-learning. *Expert Systems with Application*, 38:3477–3482.
- Effat HA. 2013. Selection of Potential Sites for Solar Energy Farms in Ismailia Governorate, Egypt using SRTM and Multicriteria Analysis. *International Journal of Advanced Remote Sensing and GIS*, 2 (1): 205–220.
- Eroğlu H, Aydin M, 2015. Optimization of electrical power transmission lines' routing using AHP, fuzzy AHP, and GIS. *Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 23: 1418–1430.
- Geymen A, 2017. Coğrafi Bilgi Sistemi Kullanılarak Su Havzalarındaki Arazi Kullanım Değişikliği ve Çevresel Etkilerin İzlenmesi : Elmalı Havzası Örneği, *İğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 7 (1):171–181
- Hansen HS. GIS-based Multi-Criteria Analysis of Wind Farm Development. *ScanGIS'2005*. 2005;75–87.
- Heo E, Kim J, Boo K-J, 2010. Analysis of the assessment factors for renewable energy dissemination program evaluation using fuzzy AHP. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14 (8):2214–2220.
- Houston G, Johnson C, 2006. EPRI-GTC Overhead Electric Transmission Line Siting Methodology. *Georg CA Georg Transm Corporation, California - USA*.
- Kengpol A, Rontlaong P, Tuominen M, 2013. A Decision Support System for Selection of Solar Power Plant Locations by Applying Fuzzy AHP and TOPSIS: An Empirical Study. *Journal of Software Engineering Application*, 6 (9):470–481.
- Küçükönder H, Efe E, Üçkardeş F, 2013. Çok Ölçütlü Karar Verme Yaklaşımlarından Analitik Hiyerarşi Süreci'nin Hayvancılıkta Kullanımı, *İğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 3(3):91-98.
- Mari R, Bottai L, Busillo C, Calatrini F, Gozzini B, Gualtieri G, 2011. A GIS-based interactive web decision support system for planning wind farms in Tuscany (Italy). *Renewable Energy*, 36:754–763.
- Monteiro C, Miranda V, Ramírez-Rosado IJ, Zorzano-Santamaría PJ, García-Garrido E, Fernández-Jiménez LA, 2013. Compromise seeking for power line path selection based on economic and environmental corridors. *IEEE Transaction on Power Systems*, 20 (3):1422–1430.
- Özdağoğlu A, Özdağoğlu G, 2007. Comparison of Ahp and Fuzzy Ahp for the Multi- Criteria Decision Making Processes With Linguistic Evaluations. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 6 (11):65–85.
- Sánchez-Lozano JM, Teruel-Solano J, Soto-Elvira PL, Socorro García-Cascales M, 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.
- Uyan M, 2013. GIS-based solar farms site selection using analytic hierarchy process (AHP) in Karapınar region, Konya/Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 28:11–17.
- van Haaren R, Fthenakis V, 2011. GIS-based wind farm site selection using spatial multi-criteria analysis (SMCA): Evaluating the case for New York State. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15 (7):3332–3340.
- Yıldırım V, Nisanci R, 2010. Developing a Geospatial Model for Power Transmission Line Routing in Developing a Geospatial Model for Power Transmission Line Routing in Turkey. *FIG Kongresi*, 11-16 Nisan 2010, Sydney.