

# Ekolojik Yalıtım Malzemesi Üretimini Analitik Hiyerarşi Prosesi ile Değerlendirilmesi

Figen BALO\*

Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü Elazığ/Türkiye

(Geliş/Received : 16.02.2017 ; Kabul/Accepted : 31.05.2017)

## ÖZ

Son yıllarda fosil kaynakların hızla tükenmesine bağlı olarak, enerji tasarrufu açısından en büyük kayıpların söz konusu olduğu yapı sektöründe enerji verimliliğini sağlamak amacıyla yalıtım malzemelerinin kullanımı gitgide artmaktadır. Yalıtım malzemeleri enerji verimliliği açısından çok olumlu katkılar sağlasa da gerek üretimi gerekse kullanımı esnasında ve hatta kullanımı sonrasında çevresel açıdan olumsuz etkileri de mevcuttur. Bu yüzden yalıtım malzemelerinin teknik özelliklerinin yanı sıra, özellikle üretimi esnasında harcanan enerji ile birlikte, üretiminde kullanılan malzemelerin çevreye olan zararlı etkileri de değerlendirilmelidir. Çünkü yalıtımın bir amacı da konfor şartlarını daha az enerji kullanarak sağlamak ve bununla beraber çevreye atılan emisyonları azaltarak ekolojik dengenin korunmasına destek olmaktadır.

Bu çalışmada yapı sektöründe yaygın olarak kullanılan yalıtım malzemelerinin üretimleri sırasında ortaya çıkan ekolojik açıdan olumsuz etkiler kullanımı ömrü de dikkate alınarak çok kriterli karar verme tekniklerinden biri olan Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) ile analiz edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Yalıtım malzemesi, ekoloji, AHP, enerji, çevresel etki.

## Evaluation of Ecological Insulation Material Manufacturing with Analytical Hierarchy Process

### ABSTRACT

Utilization of insulation materials is ever increasing recently in order to achieve energy efficiency in the building industry where significant losses occur in terms of energy savings in relation with rapid consumption of fossil resources recently. Although insulation materials provide significant value in terms of energy efficiency, negative effects exist while they are being manufactured, used, and even after they are being used. Thus, along with the technical characteristics of the insulation materials, the energy consumption during the manufacturing process and the negative effects of the materials used in their production should also be evaluated. Because one of the aims of insulation is providing conformity while using less energy and reducing emission meanwhile, thus supporting the efforts of maintaining ecological balance.

In this study, negative ecological effects that occur during the manufacturing process of insulation materials being widely used in construction industry are analyzed with Analytical Hierarchy Process (AHP) which one of the multi-criteria decision making methods.

**Keywords:** Insulation Materials, Ecology, AHP, Energy, Environmental Impact.

### 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Dünyada yıllık olarak yaklaşık 12.5 milyar TEP (Tona Eşdeğer Petrol) enerji tüketiminin 3.5 milyar TEP kadarının soğutma ve ısıtma amaçlı kullanıldığı bilinmektedir. Yapılan araştırmalar iyi bir yalıtım ile yaklaşık 3 milyar TEP/yıl civarında bir tasarrufun mümkün olduğunu göstermektedir [1]. Yalıtım malzemeleri genellikle enerji tasarrufuna olan katkısıyla dikkat çekmektedir. Bu nedenle kullanıcılar tarafından yalıtım malzemesi seçilirken genellikle elde edilen enerji kazancı, geri ödeme süresi ve ekonomik olarak maliyeti araştırılarak bir tercih yapılmaktadır. Oysa yalıtım malzemeleri olumlu katkılarıyla sürdürülebilir bir geleceğin sağlanması açısından da pozitif yönde insanoğluna ciddi destek sağlamaktadır. Dünya'nın en

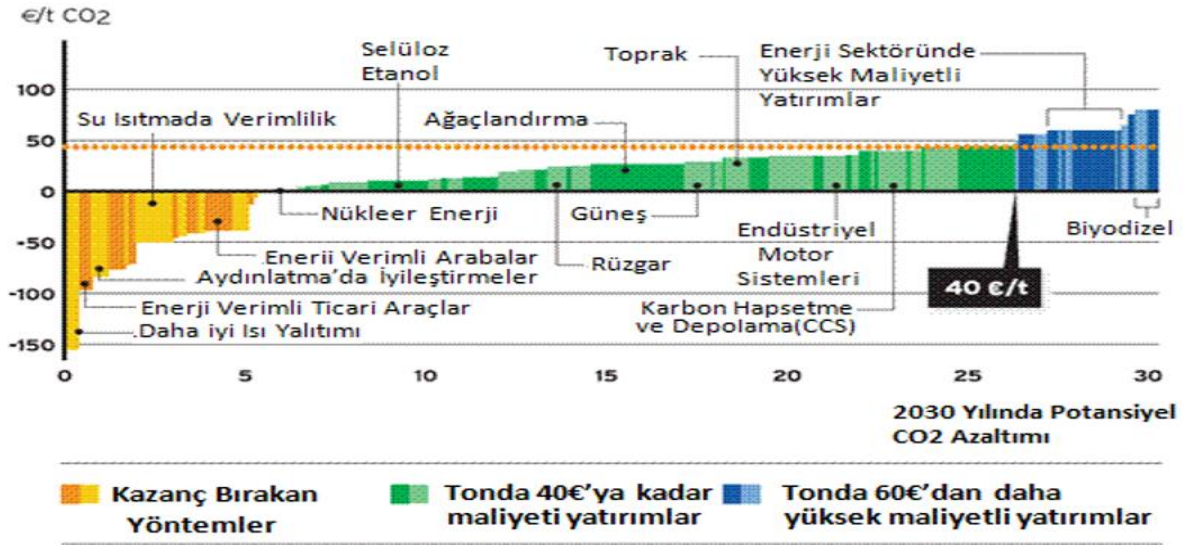
önemli enerji şirketlerinden Vattenfall ve McKinsey birlikte yürüttükleri araştırmanın neticesinde özellikle CO<sub>2</sub> emisyonunun azaltılmasının 27 farklı yöntem ile gerçekleştirilebileceğini ve bu yöntemlerden her birinin tek başına kullanımı ile elde edilebilecek azalma miktarlarını belirlemiştir. Yapılan bu araştırma sonucunda CO<sub>2</sub> emisyonunu azaltmada ısı yalıtımı 1.7 Milyar Ton/yıl ile en iyi yöntemlerden biri olarak tespit edilmiştir. Ayrıca ton başına 150€ kazanç elde edilmesi bakımından ele alındığında Dünya ekonomisine yüksek katkı sağlayan yöntemlerden biri olduğu da görülmüştür [2],[3].

Ancak yalıtım malzemelerinin kullanımıyla sağlanan bu olumlu etkiler, bu tür malzemelerin üretimi esnasında ortaya çıkabilecek olumsuz etkilerle birlikte değerlendirilmek zorundadır. Çünkü Dünya için gelecekte en büyük tehditlerden biri küresel iklim değişikliğidir. Bu tehlikeleri azaltmak veya yok etmek ancak ekolojik açıdan zararlı emisyonların azaltılmasıyla

\*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)

e-posta: fbalo@firat.edu.tr

Digital Object Identifier (DOI) :



Şekil 1. CO<sub>2</sub> emisyonlarını azaltma amacıyla kullanılan yöntemlerin marjinal maliyetleri [2] (The marginal cost of the method used in order to reduce CO<sub>2</sub> emissions)

mümkün olacaktır. Son yıllarda yalıtım malzemelerinin Montreal ve Kyoto protokollerine göre üretimi ve kullanımı açısından çevreye uyumlu olması birçok ülke tarafından zorunlu hale getirilmiştir [4]. Bir yalıtım malzemesi üretilirken, mineral kaynak tüketimi, kullanılan su, stratosferik ozon azaltma oranı, çevresel zehirlilik, insanlardan kaynaklanan zehirlilik, nükleer atık, fosil yakıt kullanımı, çöp depolanması, asidifikasyon miktarı, ötrofikasyon oranı gibi ekolojik açıdan istenmeyen birçok etmen dikkate alınmak zorundadır. Ancak yalıtım malzemelerinin üretimi aşamasında kullanılan ve daha sonrada bünyelerinde bulunan Formaldehid, Hidrokloroflorokarbon (HCFC) ve Kloroflorokarbon (CFC) gibi maddeler hem insan sağlığı hem de çevre açısından en zararlı etkilere sahiptir. Daha önce CFC kullanılarak üretimi yapılan birçok ısı yalıtım malzemesi, yoğun zararlı etkilerinin farkına varılmasıyla son 20 yıldan beri CFC'ye göre daha az zararlı HCFC kullanılarak üretilmeye başlanmıştır. Ancak HCFC de ozon tabakasına zarar veren ve küresel ısınmaya katkıda bulunan bir kimyasaldır. Aynı şekilde yalıtım malzemesi üretiminde kullanılan cam yünü, lif ve sentetik mineral gibi maddelere temas edilmesinin bile sağlık için olumsuz etkilere sahip olduğu araştırmalarda belirtilmiştir [5]. Doğal içerikli maddelerle üretilen yalıtım malzemeleri daima çevresel bakımdan daha az zararlıdır. Ama doğal olmayan maddelerle yapılan ısı yalıtım malzemesi üretiminde; yalıtım malzemelerinin önemli üretim özellikleri, üretimde kullanılan malzemelerin farklı çevresel etkileri ve yalıtım malzemesinin kullanım ömrü hep birlikte değerlendirilmelidir. Değerlendirmelerle elde edilen sonuçlara göre karar vererek bir yapı için kullanılacak ısı yalıtım malzemesini belirlemek ekolojiye ve insan sağlığına destek olacaktır. Isı yalıtım malzemesi üretimi için kullanılan bazı maddeler, yüksek oranda geri dönüştürülebilir. Bu tarz maddelerle üretilen ısı yalıtım malzemeleri, daha az tehlikeli olarak değerlendirildiğin-

den ekolojik açıdan analiz yapan bu çalışmada dikkate alınmamıştır. Mesela; taşıyıcı içerisinde yaklaşık %75 oranında geri dönüştürülen çürük, camyününde yaklaşık %25 oranında geri dönüştürülen cam, selüloz içinde yaklaşık %75 oranında kullanılmış kağıt ve yine perlitle üretilen kompozit yalıtım levhalarında yaklaşık %23 oranında kullanılmış kağıt kullanımı söz konusudur [5],[6]. Yalıtım malzemelerinin ömrü süresince kirleticiliği de düşünüldüğünde geri kazanımlı zararsız maddelerden üretilmeyen ve fosil kökenli maddelerden üretilen yalıtım malzemelerinin içeriğinde kullanılan maddelerin ve etkilerinin de araştırılması önemlidir. Bu tip maddelere ekolojik açıdan göz atacak olursak en önemli ölçüde zarar veren maddeler fosil yakıtlardan üretilen etilen polistren (stiren monomerinin polimerizesi), poliyol, polimerik metilen diizosiyanat, polisosiyanurat ve poliüretandır. Polistren, püskürtülmüş (extruded) veya şişirilmiş (expanded) olarak EPS (Genleştirilmiş Polistiren) ve XPS üretiminde kullanılır. Ama sadece kullanılan hammaddeler değil ısı yalıtım malzemesi üretiminde kullanılan farklı maddelerde ekoloji açısından önemlidir. Örneğin, EPS üretilirken kullanılan hammadde içine eklenen porozitelendirme (şişirme) ajanı, buhar yardımıyla belli bir kalıp içerisinde genleştirilir bu sayede hammadde kalıbın şeklini alır. Bu porozitelendirme ajanı EPS için genellikle Pentan gazı olup, ozon tabakasına olumsuz yönde çok büyük oranda zararı bulunmamaktadır. Pentan gazı, atmosfer şartlarında sekiz günde parçalanmaktadır. EPS'nin yaklaşık %1-2'si katı madde, % 98-99 'u havadan meydana gelir. Ama EPS'nin ana hammaddesi polistren çevre ve insan sağlığı açısından zararlıdır. Çünkü polistrenin üretimi için kullanılan stiren canlılarda tür dönüştürücü, zehirli, kanser yapıcı ve ekolojik açıdan oldukça zararlı bir maddedir. Yine EPS üretiminde kullanılan benzen maddesi de çevre ve insan sağlığı için zararlıdır [4], [7]. Poliyol, polimerik metilen diizosiyanat ve polisosiyanurat gibi maddeler poliüretan köpüğün

temel bileşenlerinden biri olan izosiyanatın farklı izosiyanat molekülleri ile reaksiyonu sonucu oluşan yeni makro moleküler yapılarıdır. Bu nedenle, bu çalışmada temel madde olarak poliüretan ile üretilmiş ısı yalıtım maddeleri dikkate alınmıştır. Çünkü ekolojik açıdan, poliüretanla elde edilen sonuçlar bahsedilen maddelerle elde edilen sonuçlarla karşılaştırıldığında birbirine yakın değerlere sahiptir [8], [9]. Poliüretan, izosiyanat ve polioliün kimyasal olarak tepkimeye girmesi ile elde edilir. Poliüretan köpüğü farklı katkı maddeleri ile istenilen özelliklerde elde edilebilir. Bu katkı maddeleri farklı katalizörler, renklendiriciler, alev geciktiriciler, yüzey aktifleştirici maddeler ve şişirici gazlar gibi birçok özellikte maddeyi içerir. Bu maddelerin ekolojik olabilen türleri olduğu gibi çevre ve insan sağlığına oldukça zararlı olanları da mevcuttur. Üretici şirketin üretim için kullandığı maddeler bu çerçeveden bakıldığında ısı yalıtım malzemesinin ekolojik açıdan etkilerini küçük veya büyük çaplı olarak değiştirebilir. Örneğin, Poliüretan köpük alan bir kullanıcının aldığı iki parçalı paket bir polioli reçine ve bir izosiyanatdan oluşur. Ama içerisindeki porozitelendirici bir başka deyişle şişirici ajanın yapısına göre söz konusu yalıtım ekolojik olarak daha çok veya daha az zararlı olabilir [10]. Günümüzde poliüretan köpüğün porozitelendirilmesini sağlayan şişirici (porozitelendirici) başlıca ajanlar; izosiyanatın asetonla reaksiyona girmesiyle CO<sub>2</sub> oluşturan porozitelendirici en zararsız ajan olan saf su, su, sıvı karbondioksit (CO<sub>2</sub>), hidrokarbonlar (pentane), hidroflorokarbonlar (HFC), hidrokloroflorokarbonlar (HCFC)'dir. Porozitelendirme amaçlı kullanılan birçok ajan, yüksek konsantrasyonlarında havadan daha ağır olup, gerekli O<sub>2</sub>'nin yerini alabilir. Bu maddelerin her birinin kendine özgü zararları mevcuttur. Örneğin, hidrokarbonlar yanıcıdır, HCFC ve HFC'ler kendi başına cilt ve göz için tahriş edicidir ve çevre açısından zararlıdır [3]. Yalıtımda geri dönüşümlü malzeme kullanımlarına baktığımızda en ekolojik malzemenin selüloz olduğu görülmektedir. %70 oranında kullanılmış kağıt, bağlayıcı ve yangın önleyici maddelerden üretilen selülozun, R değerinin yüksek, az tozlu ve uzun ömürlü bir yalıtım malzemesi olması nedeniyle son dönemlerde çatı yalıtımı için stabilize haliyle kullanılması yaygınlaşmıştır. Mineral yün piyasada yaklaşık %80 taş yünü ve %20 cüruf olmak üzere iki şekilde üretilerek kullanılır. Taş yünü doğal kayalardan elde edilen bir malzemedir. Cüruf ise demir üretiminden çıkan atık bir üründür. Bu malzemelerin üretimleri esnasındaki aşamalar ekolojik açıdan kıyaslandığında, birçok malzemeye göre daha olumlu özellikleri olduğu bilinmektedir. Fiber glass (cam elyafı), silis kumunun içine değişik katkı malzemeleri ekleyerek, farklı özelliklerde ve çok ince biçimli cam telcikleri şeklinde üretilmektedir. İçeriğinde genel olarak kireçtaşı, alüminyum, borik asit, magnezyum, kolemanit ve silisli kum bulunmaktadır. Bu malzemenin ekolojiye olan etkileri diğer yalıtım malzemeleriyle kıyaslandığında, üretimi sırasında içerdiği maddeler sebebiyle bazı malzeme üretimlerinde beklenenden daha olumlu etkiler

göstermiştir [5]-[8]. Yalıtım malzemelerinin içeriklerinde en yoğun kullanılan maddelerin yanında içeriklerine belli amaçlar için (yanmayı önleme, akustik etki, mukavemetlendirme vb.) eklenen birçok hammadde de yalıtım malzemelerinin üretimleri sırasında çevreyi kirletici etkilere sebep olabilmektedir. Örneğin, selülozik yalıtım malzemeleri ve cam yünü üretiminde yanmazlık özelliğini aktive etmek için bor oksit kullanılır. Bunun gibi kullanılan her maddenin diğer maddelerle kimyasal olarak birleştiğinde ekolojiye farklı etkilerinin olabileceği açıktır.

Yine son yıllarda çevresel açıdan daha olumlu etkilere sahip olması sebebiyle, geri dönüşümlü içeriğe sahip ısı yalıtım malzemelerinin üretimi, düzenlenen yasalarla bazı ülkeler tarafından teşvik edilmektedir ve bu tip üretim yapan işletmelere belli oranda devlet desteği verilmektedir. Bu tür teşvik kapsamına giren yalıtım malzemesi üretiminde, daha fazla doğal malzeme kullanılması, katı atıkların kirletici değil üretim maddesi konumuna geçirilmesi ve malzeme üretimi sırasında nispeten daha az enerji kullanılması dikkate alınmaktadır. Örneğin, cam yünü üreten firmalar yaklaşık %8 endüstriyel atık cam ve %17 kullanılmış cam kullanabilmektedir. Dolayısıyla atık cam %1 oranında kullanılıyorsa kum kullanılması durumunda gereken enerjiden %1 daha az enerji kullanılmış olacaktır. Özellikle yalıtım malzemesinin üretiminde kimyasalların yoğun kullanımını azaltmaya yönelik atık kullanımı yada daha az zararlı kimyasalların kullanımı ekolojik açıdan daha fazla önem arz etmektedir. Örneğin cam yünü üretiminde lifleri bir arada tutmak için kullanılan fenol formaldehit ekolojik olarak zararlı bir maddedir. Ama bu malzeme klor türevli bir maddeyle üretildiğinde ozon tabakasına olan zararı çok daha büyüktür [6]-[9].

Gerek atık-doğal maddelerle gerekse fosil kaynaklarla üretilen yalıtım malzemelerinin çevresel etkileri konusunda birçok literatür çalışması mevcuttur. Farklı duvar tiplerine farklı yalıtım malzemelerinin optimum kalınlığında kullanılması durumunda bölgesel olarak elde edilen enerji kazançları, kullanılan enerji kaynağının tipine göre çevreye salınan CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> gibi sera gazlarının miktarı ve yalıtım kullanılması durumunda bu emisyonların oranlarında sağlanabilecek azalma dolayısıyla küresel ısınmanın önlenmesi konusunda bu yalıtım malzemelerinin etkinliği, yalıtıma yapılan harcamanın geri ödeme süreleri konusunda birçok araştırma yapılmıştır [11]-[14]. Shrestha ve arkadaşları bina yalıtım malzemelerinin çevresel etkileri ve enerji kullanımındaki pozitif etkileri üzerine çalışmıştır [15]. Fischer ve arkadaşları ile Kosny ve arkadaşları köpük yalıtım malzemelerinin ömrü süresince elde edilen enerji kazancı ve sera gazı emisyonlarında elde edilen azalmayı dolayısıyla küresel ısınmayı önlemeye ne kadar katkı sağlayabileceği konusunda çalışmışlardır. Bu çalışmalarda üretim, taşıma ve atık etkileri toplu olarak değerlendirilerek çalışma sonuçları irdelenmiştir [16], [17]. Pargana ve arkadaşları binalarda kullanılan farklı yapı yalıtım malzemelerinin (genleştirilmiş polistren, poliüretan, genleştirilmiş mantar, genleştirilmiş killi hafif

agregalar) çevresel olarak ömürlerini kıyaslamalı olarak değerlendirmiştir. Her yalıtım malzemesinin çevresel etkisini kullanım açısından kıyaslamışlardır [18]. Bribián ve arkadaşları farklı yapı malzemelerinin ömrünü ve çevresel etkilerini ve bu malzemelerin daha eco-verimli olması için üretimlerinde yapılabilecek düzenlemeleri araştırmıştır. Kullanılabilecek geri dönüştürülmüş malzemeler ve eco verimli malzemeler ile elde edilebilecek kazanımları ifade etmişlerdir [19]. Tetey ve arkadaşları çok katlı binalarda kullanılan farklı yalıtım malzemelerinin üretimi esnasında kullanılan farklı enerji kaynakları ile sarf edilen enerji miktarı ve CO<sub>2</sub> emisyonu miktarını araştırmışlardır [20]. Literatür araştırmalarından da görüldüğü gibi fosil enerji kaynaklarının azalması ile birlikte kitlesel enerji yani malzeme taşınması ve üretilmesi için kullanılan enerjinin azaltılması önem arz etmektedir. Bu amaçla yalıtım malzemelerinin teknik özellikleri, atık özellikleri ve kullanım ömrü yanında kitlesel enerjisi de değerlendirilerek yapılan yalıtım malzemesi seçimiyle daha ekolojik ve az enerji harcayarak üretilen malzemelerin kullanılması gelecek nesillere daha az tüketilmiş enerji kaynaklarıyla birlikte daha ekolojik bir çevre bırakmamızı sağlayacaktır.

Bu amaçla yapılan çalışmada, ekolojik olarak belirlenmiş altı bağımsız kriter eşliğinde çevresel etkiler açısından en sıkıntılı ve en yoğun kullanılan dokuz yalıtım malzemesi çok kriterli karar verme tekniklerinden AHP ile analiz edilmiştir. Sonuç olarak kitlesel enerji, teknik özellikler, kullanım ömrü ve çevreye atılan zararlı atıklar gibi özellikleri birlikte değerlendirmek suretiyle ekolojik olarak en iyi yalıtım malzemesi tespit edilmiştir.

## 2. AHP METODU(AHP METHOD)

AHP, Saaty tarafından geliştirilmiş bir model olup çok kriterli karar verme problemleri için çözümleme yapmak amacıyla kullanılan bir metottur. Genel olarak karar verme için bir hiyerarşinin oluşturulması gerekir. AHP, kararı etkileyen her bir faktör açısından belirlenen karar noktalarının belli bir yüzde ile dağılımlarını veren tahminleme ve karar verme yöntemidir. Belirlenen karar hiyerarşisi yardımıyla, önceden tanımlanmış seçeneklerle oluşturulan karşılaştırma skalası sayesinde, hem kararı etkileyen belli faktörler hem de söz konusu faktörlere göre karar noktalarının öncelikli olarak önem değerlerine göre, birebir karşılaştırma yapılmasına dayanır. Sonuç olarak önem farklılıkları yardımıyla, karar noktaları temel alınarak yüzde dağılım şeklinde dönüşüm yapılır. Kısaca AHP metodu 4 aşamadan oluşur. Öncelikle hiyerarşi modeli oluşturulur. Daha sonra ikili karşılaştırmalar şeklinde tercih matrisleri oluşturulur, buna göre üstünlükler belirlenir, en son sentez yani bütünlüştürme yapılarak sonuç belirlenir [21].

## 3. EKOLOJİK AÇIDAN YALITIM MALZEMESİ SEÇİMİ (INSULATION MATERIAL SELECTION IN TERMS OF ECOLOGICAL)

Yalıtım malzemelerinin çevresel etkileri oldukça karmaşık olduğundan ekolojik açıdan en uygun yalıtım

malzemesinin seçiminde kriterlerin birbirine göre herhangi bir analiz kullanmadan değerlendirilmesi zordur. Bu çalışmada AHP tekniğinin kullanılmış olmasının nedeni, kullandığı sistematik yaklaşımla ana problemi daha küçük ve basit alt problemlere bölmek suretiyle karar vericilere karmaşık karar verme problemlerini analiz etme olanağını sunmasıdır. Bu yaklaşımla çok kriterli karar verme problemleri çözülebilmektedir. Ekolojik açıdan en uygun üretilen yalıtım malzemesinin belirlenmesinde birden fazla kriterin göz önüne alınması gerekli olduğundan AHP tekniği ile tüm bu kriterleri değerlendirerek en uygun yalıtım malzemesinin seçilmesi amacına yönelik gerekli hesaplamalar aşağıda sunulmaktadır. Bu çalışmanın literatüre katkısı, belirlenen amaca yönelik olarak öncelikle ilgili kriter listesinin ve hiyerarşisinin oluşturulmuş olması, ardından bu kriterlerin karşılaştırmalı olarak önceliklerinin belirlenmiş olmasıdır. AHP tekniği kapsamında bu öncelikler uzman görüşlerine başvurularak belirlenmiştir.

Öncelikle yalıtım malzemelerinin ekolojik etkilerini yansıtan kriterler belirlenmiştir. Bu kriterler aynı kategoride değerlendirilebileceğinden ana ve alt kriterler oluşturulmasına gerek duyulmamıştır. Bu açıdan kriter hiyerarşisinde alt-kriter bulunmamaktadır. Çalışma kapsamında dokuz adet yalıtım malzemesi karşılaştırılmıştır.

### 3.1. Ekolojik Yalıtım Malzemeleri Seçim Kriterleri (Ecological Insulation Material Selection Criteria)

AHP yöntemi alternatiflerin, kriterler bazında değerlendirilmesine dayanan, hiyerarşik yapı bir çözüm metodolojisidir. Bu hiyerarşik yapı, amaç, kriter ve alternatiflerden oluşmaktadır. Bu çalışmada ekolojik açıdan en uygun yalıtım malzemesinin seçilmesi amaç olarak belirlenmiştir. Bu amaç doğrultusunda belirlenen kriter ve alternatifler aşağıda ifade edilmiştir.

Çalışma içerisinde ele alınan kriterler:

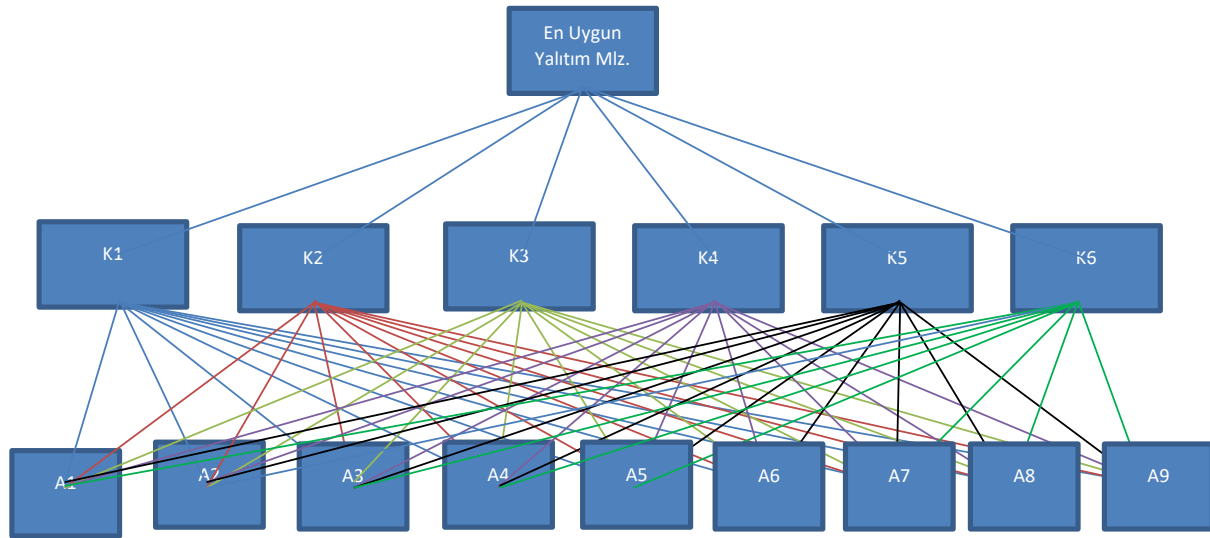
- R değeri (K1)
- Yoğunluk (K2)
- Üretim Enerjisi (K3)
- Üretilen karbon (K4)
- Porozite (K5)
- Ömür (K6)

Bir sistem için ısı yalıtımı yapılırken esas amaç sistemin ısı kayıplarını önlemektir. Bu nedenle sistem için seçilen ısı yalıtım malzemesinin, sistemin bu kayıplarına karşı direnci önemlidir. Bu amaçla ısı yalıtım malzemesinin ısı direnci yani R (m<sup>2</sup> K/W) değeri hem ısı iletkenlik hem de kalınlık değerlerini hesaba katarak malzemenin sağlayabileceği ısı yalıtımını ifade eden kriterlerden biri olarak seçilmiştir. İkinci kriter olarak ısı yalıtım malzemesinin yoğunluğu kullanılmıştır. Kullanım yeri ve fiziksel ölçüm değerleri göz önüne alınarak ısı yalıtım malzemesinin farklı yoğunluklarda üretilebilmesi sağlanabilmektedir. Genel olarak bir ısı yalıtım malzemesinin sisteme kütleli olarak olumsuz yük getirmemesi istenmektedir. Düşük yoğunluğa sahip malzemelerin en

önemli avantajlarından biri de bina içerisinde ortaya çıkan atık su buharının dış ortama geçişine destek olmasıdır. Ancak yüke maruz kalmayan alanlarda arzu edilen düşük yoğunluklu ısı yalıtım malzemeleri yerine, şap altına uygulanacak ısı yalıtım malzemelerinde yoğunluğu daha yüksek malzemeler tercih edilmektedir. Bu sayede malzeme kalınlığının zaman içerisinde azalması önlenmektedir. Üretim sırasında harcanan enerji üçüncü kriter olarak kullanılmıştır. Fosil enerji kaynaklarının kullanılmasıyla üretilen yalıtım malzemesi için harcanan enerjinin miktarı önemlidir. Yalıtımla sağlanmak istenen enerji tasarrufunun yanında üretimi için harcanan enerjinin miktarı düşünülerek bu parametre kriterlere dahil edilmiştir. Diğer bir kriter olarak üretilen karbon miktarı

Çalışma içerisinde ele alınan alternatifler:

- Selüloz (yoğun-paketlenmiş) (A1)
- Fiberglass (A2)
- Rijit mineral yün (A3)
- Poliizosiyenürat (A4)
- Spray polyüretan köpük (hidroflorokarb) (A5)
- Spray polyüretan köpük (su ile) (A6)
- Spray polyüretan köpük (saf su ile) (A7)
- EPS (A8)
- XPS (A9)



Şekil 2. Kriter ve alternatiflere ait hiyerarşik model (Hierarchical model of criteria and alternatives)

değerlendirilmiştir. Bu parametre aynı fosil enerji kaynağının kullanılması ile çıkan emisyonları ve yalıtım malzemesinin üretimi esnasında kullanılan ham maddelerin kimyasal reaksiyona girmesiyle ortaya çıkan yaklaşık emisyon miktarını kapsamaktadır. Ekolojik açıdan çevreye salınan emisyonlar hava kirliliğine sebep olan önemli etkenlerden biridir. Beşinci kriter olarak ele alınan porozite yani boşluk oranı arttıkça ısı iletkenlik azalır. Porozite miktarı ve ısı iletim katsayısı arasındaki bu ilişki, boşlukların üretilmesinde kullanılan gazın türüne göre de değişmektedir. Mesela hidrofloro karbonla veya suyla üretilen poliüretan köpük malzemelerin ısı iletim katsayısı değerleri birbirinden oldukça farklıdır. Poroziteli malzemelerde sürekli fazı meydana getiren maddenin kimyasal bileşimi, amorf veya kristal yapıya olması, serbest elektron bulunması, ısı iletimlik değerini de etkiler. Analize dahil edilen son kriter malzeme ömrüdür. Kısa ömürlü ısı yalıtım malzemelerinin çevreye atık olarak dönme süresinde kısa olacağından çevreyi negatif yönde etkileyecektir. Bu nedenle üretilen yalıtım malzemesinin ömrü; malzeme üretim yöntemi, üretimde kullanılan ham malzemelerle yakından alakalıdır.

Bu çalışmada, alternatif olarak ısı yalıtımı amacıyla yapı sektöründe en fazla kullanılan ve üretimi en çok yapılan malzemeler tercih edilmiştir. Belirlenmiş olan alternatif ve kriterler doğrultusunda oluşan hiyerarşik yapı şekil 2'de ifade edilmiştir.

AHP yöntemi kapsamında ilk adım, ikili karşılaştırma matrisinin belirlenmesi ve buna dayanarak kriter önceliklerinin belirlenmesidir. Yapılan uygulama çalışması için ikili karşılaştırma matrisi Çizelge 1'de ifade edilmiştir. Bu değerleri Expert Choice programında kullanarak kriter ağırlıkları elde edilmektedir. Burada dikkat edilmesi gereken noktalardan biri, matrisin tutarlılık oranının belirlenmesidir. Yapılan analiz çalışması sonucunda matrisin tutarlılığı 0.08 olarak tespit edilmiştir. Bu değer 0.1 den küçük olduğu için matris tutarlı olarak kabul edilmektedir.

Çizelge 2. Karar matrisi. (Decision matrix)

	R Değeri	Yoğunluk	Üretim Enerjisi	Üretilen Karbon	Porozite	Ömür
R Değeri		3	5	5	7	9
Yoğunluk			3	3	3	7
Üretim Enerjisi				3	5	9
Üretilen Karbon					3	5
Porozite						3
Ömür						

Çizelge 2 deki karar matrisinden hareketle kriterlerin öncelikleri ise aşağıdaki şekilde belirlenmiştir.

- R değeri = 0.452
- Yoğunluk = 0.222
- Üretim Enerjisi = 0.163
- Üretilen karbon = 0.089
- Porozite = 0.05
- Ömür = 0.024

Kriter ağırlıklarını belirledikten sonra, kriter temelinde alternatiflerin değerlendirilmesi gerekmektedir. Her bir kriter temelinde, alternatiflerin değerlendirilmesi aşağıdaki Çizelgelarda ifade edilmiş ve her bir Çizelgenun tutarlığı Çizelge 3’de belirtilmiştir.

Çizelge 3. Tutarlılık oranları

Çizelge	Tutarlılık
Çizelge 4	0.09
Çizelge 5	0.08
Çizelge 6	0.04
Çizelge 7	0.03

Priorities with respect to:  
Goal: En uygun yalıtım malzemesi



Şekil 3. Kriter ağırlıkları için Expert Choice ekran çıktısı (Expert Choice screen output for criterial weights)

Çizelge 4. “R değeri”, kriter temelinde alternatif matrisi (Alternative matrix on the basis of "R değeri" criterion)

R Değeri için	Selüloz	Fiberglass	Rijit mineral yün	Poliizosiyandır	Spray polyüretan köpük	Spray polyüretan köpük	Spray polyüretan köpük	EPS	XPS
Selüloz	1	1	1/3	1/7	1/7	1/7	1/3	1/9	1/9
Fiberglass		1	1/3	1/3	1/5	1/5	1/3	1/3	1/5
Rijit mineral yün			1	1/3	1/3	1/3	1	1	1/3
Poliizosiyandır				1	1	2	5	1	1
Spray polyüretan köpük 1					1	1/2	1/3	1/5	1/3
Spray polyüretan köpük 2						1	3	1	1
Spray polyüretan köpük 3							1	1	1/3
EPS								1	1/3
XPS									1

**Çizelge 5.** “Yoğunluk”, kriter temelinde alternatif matrisi (Alternative matrix on the basis of "Yoğunluk" criterion)

Yoğunluk	Selüloz	Fiberglass	Rijit mineral yün	Poliizosiyanürat	Spray polyüretan köpük	Spray polyüretan köpük	Spray polyüretan köpük	EPS	XPS
Selüloz	1	1/5	3	1/3	1/3	1/5	1/3	1/5	1/3
Fiberglass		1	7	5	3	3	3	1	3
Rijit mineral yün			1	1/5	1/3	1/3	1/3	1/5	1/3
Poliizosiyanürat				1	3	3	3	1/5	3
Spray polyüretan köpük 1					1	1	1	1/5	1
Spray polyüretan köpük 2						1	1	1/5	1
Spray polyüretan köpük 3							1	1	5
EPS								1	3
XPS									1

**Çizelge 6.** “Üretim Enerjisi”, kriter temelinde alternatif matrisi (Alternative matrix on the basis of "Üretim Enerjisi" criterion)

Üretim Enerjisi	Selüloz	Fiberglass	Rijit mineral yün	Poliizosiyanürat	Spray polyüretan köpük	Spray polyüretan köpük	Spray polyüretan köpük	EPS	XPS
Selüloz	1	5	3	7	7	7	7	9	9
Fiberglass		1	1/3	5	5	5	5	7	7
Rijit mineral yün			1	7	7	7	7	9	9
Poliizosiyanürat				1	1	1	1	3	3
Spray polyüretan köpük 1					1	1	1	3	3
Spray polyüretan köpük 2						1	1	3	3
Spray polyüretan köpük 3							1	3	3
EPS								1	1
XPS									1

**Çizelge 7.** “Üretilen Karbon”, kriter temelinde alternatif matrisi (Alternative matrix on the basis of "Üretilen Karbon" criterion)

Üretilen Karbon	Selüloz	Fiberglass	Rijit mineral yün	Poliizosiyanürat	Spray polyüretan köpük	Spray polyüretan köpük	Spray polyüretan köpük	EPS	XPS
Selüloz	1	5	3	9	9	9	9	7	7
Fiberglass		1	1/3	5	5	5	5	3	3
Rijit mineral yün			1	7	7	7	7	5	5
Poliizosiyanürat				1	1	1	1	1/3	1/3
Spray polyüretan köpük 1					1	1	1	1/3	1/3
Spray polyüretan köpük 2						1	1	1/3	1/3
Spray polyüretan köpük 3							1	1/3	1/3
EPS								1	1
XPS									1

**Çizelge 8.** “Porozite Ajanı”, kriter temelinde alternatif matrisi (Alternative matrix on the basis of "Porozite Ajanı" criterion)

Porozite ajanı	Selüloz	Fiberglass	Rijit mineral yün	Poliizosiyanürat	Spray polyüretan köpük	Spray polyüretan köpük	Spray polyüretan köpük	EPS	XPS
Selüloz	1	1	1	3	5	1	1	3	5
Fiberglass		1	1	3	5	1	1	3	5
Rijit mineral yün			1	3	5	1	1	3	5
Poliizosiyanürat				1	9	1/3	1/3	1	9
Spray polyüretan köpük 1					1	1/9	1/9	1/7	1
Spray polyüretan köpük 2						1	1	3	9
Spray polyüretan köpük 3							1	3	9
EPS								1	7
XPS									1

**Çizelge 9.** “Ömür”, kriter temelinde alternatif matrisi (Alternative matrix on the basis of "Ömür" criterion)

Ömür	Selüloz	Fiberglass	Rijit mineral yün	Poliizosiyanürat	Spray polyüretan köpük	Spray polyüretan köpük	Spray polyüretan köpük	EPS	XPS
Selüloz	1	1/5	1/5	1	1/3	1/5	1/5	1/5	1/9
Fiberglass		1	1	3	1	1	1/5	1	1/7
Rijit mineral yün			1	3	1	1	1	3	1/3
Poliizosiyanürat				1	1	1	1/3	1	1/5
Spray polyüretan köpük 1					1	1/3	1	1/3	1/5
Spray polyüretan köpük 2						1	1/3	1/3	1/9
Spray polyüretan köpük 3							1	2	1/3
EPS								1	1/5
XPS									1

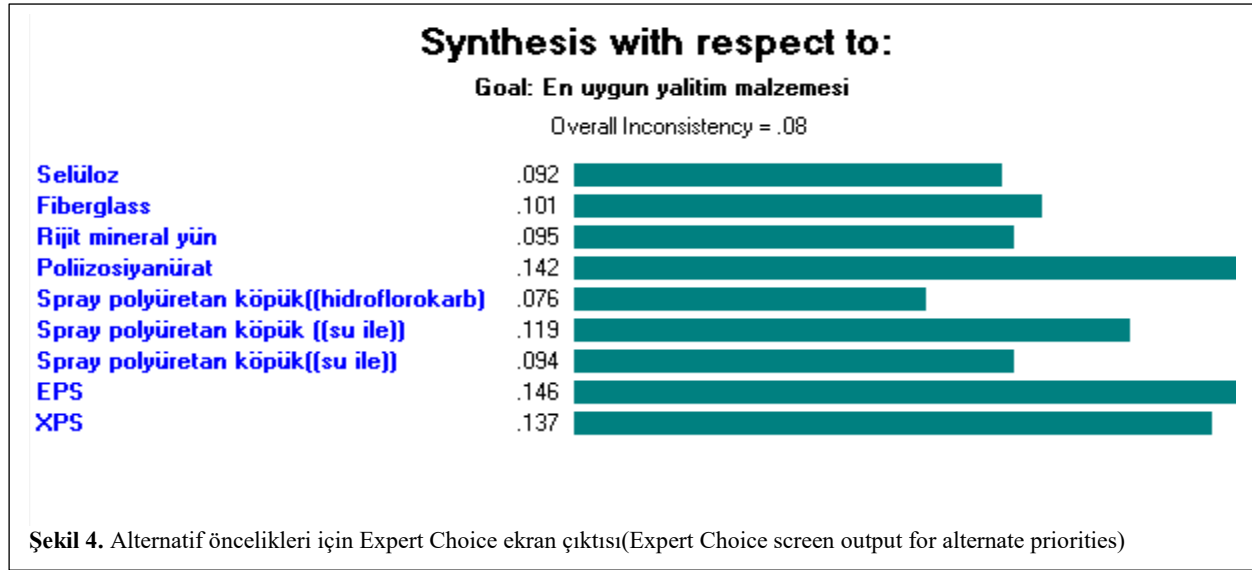
Belirtilen işlemlerden sonra, son işlem olarak alternatiflerin önceliklendirilmesi ve uygun yalıtım malzemesinin seçilmesi işlemi gerçekleştirilmiştir. Kriter öncelik matrisi ve kriter temelinde alternatif öncelik matrisi kullanarak, alternatif öncelikleri belirlenmiş ve aşağıda ifade edilmiştir.

Uygun yalıtım malzemeleri

- EPS -- %14,6
- Poliizosiyanürat -- %14,2
- XPS-- %13,7

- Spray polyüretan (köpük su ile) -- %11,9
- Fiberglass -- %10,1
- Rijit mineral yün = %9,5
- Spray polyüretan (köpük su ile) -- %9,4
- Selüloz -- %9,2
- Spray polyüretan köpül(hidroflorokarb) -- %7,6





Yapılan analiz çalışmasına göre üretim kriterleri dikkate alındığında ekolojik açıdan en uygun yalıtım malzemesinin %14,2 ile EPS yalıtım malzemesi olduğu gözlemlenmiştir.

#### 4. SONUÇ (CONCLUSION)

Yalıtım malzemelerinin çevresel etkileri karmaşıktır. Bu malzemelerin kullanımı sayesinde çevreye sağlanan kazançların yanısıra üretimi sırasında çevreye verdiği zararlı etkilerde değerlendirilmelidir. Bu nedenle üretimi esnasında çevresel açıdan etkileri ile değerlendirilerek yapılan yalıtım malzemesi seçimi önemlidir. Bir yapı için seçilen yalıtım malzemesi, öncelikle istenen ısı yalıtımını tam olarak sağlamalıdır. Yapıda enerji kullanımını azaltmalıdır. Ayrıca yüksek R değerinde üretilen yalıtım malzemesinin kullanım kalınlığı azalmış olacaktır. Dolayısıyla daha az üretilen yalıtım malzemesi hem ekonomiye hem de ekolojiye daha az zarar vermiş olacaktır. Yalıtım malzemelerinin üretiminde kullanılan malzemelerin seçimi yalıtım malzemelerinin çevreye olan etkileriyle doğrudan bağlantılıdır. Üretim sırasında CFC esaslı malzemelerin kullanımı ozon tabakasına en yüksek zararı vermektedir. Aynı şekilde sprey poliüretan ve poliizosiyanür kullanımı da çevresel açıdan oldukça zararlıdır. Son yıllarda bu malzemelerin yerine daha az zararlı HCFC kullanımı yaygınlaşsa da, bu malzemenin de çevresel zararları mevcuttur. Bu nedenle gelecek nesillere daha temiz ve daha yaşanabilir bir çevre bırakmak için üretim aşamasındaki zararlı etkilerini de dikkate alarak hammadde seçimi yapılmalıdır. Geri dönüşümlü, doğal ve ekolojik malzemelerle üretilen yalıtım malzemelerinin üretimi ve kullanımı yaygınlaştırılmalı ve belli oranlarda devlet desteği ile teşvik edilmelidir.

#### 5. KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. [www.eps.co.uk/sustainability/sustainability.html](http://www.eps.co.uk/sustainability/sustainability.html)
2. *Vattenfall's Climate Map, 2030.*

3. Enkvist P., Nauclér T. and Rosander J. "A cost curve for greenhouse gas reduction", *McKinsey Quarterly*, 1: 34, (2007).
4. Üstün A. K., Apaydın M., Filik Ü.B. and Kurban M. "Kyoto protokolü kapsamında türkiye'nin yenilenebilir enerji politikalarına genel bir bakış", *Yeksem 2009: Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu*, 23, 5, Diyarbakır, (2009).
5. "Yapı Yalıtımının Çevresel Değerlendirilmesi". [www.cel-lubor.com.tr/tr/belgeler/1-8.doc](http://www.cel-lubor.com.tr/tr/belgeler/1-8.doc)
6. Koçu N. ve Korkmaz S. Z. "Konya çevresindeki yapılarda ısı yalıtımı uygulamalarının TS 825'e göre değerlendirilmesi ve çevre kirliliğine etkisi". *www.mmo.org*, (2013).
7. Styropor Expanded Polystyrene Technical Bulletin, "Protective packaging properties and design fundamentals", *Basf Corporation, Mt Olive*, New Jersey, (2014).
8. Çomaklı K., Bakırcı K., Erdoğan S. and Sahin B. "Enerji, çevre, sağlık ve güvenlik açısından yalıtım", *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 89: 65-70, (2005).
9. [www.teknopanel.com.tr/sayfalar/658/hammadde-bilgileri/poliizosiyanurat.aspx](http://www.teknopanel.com.tr/sayfalar/658/hammadde-bilgileri/poliizosiyanurat.aspx)
10. Yücedağ F. "Poliol ve izosiyanatın (polimerik Mdı) güvenli kullanımı", *Nuhsol Polimer Ve Kimyasalları San. Tic. A.Ş.*
11. Balo F., "Feasibility study of "green insulation materials including tall oil: environmental, economical and thermal properties", *Energy and Buildings*, 86: 161-175, (2015).
12. Ucar A. and Balo F., "Determination of environmental impact and optimum thickness of insulation for building walls", *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 30(1): 113-122, (2011).
13. Balo F., "energy and economic analyses of insulated exterior walls for four different cities in Turkey", *Energy Education Science and Technology Part A: Energy Science and Research*, 26(2): 175-188, (2011).
14. Balo F., "Characterization of green building materials manufactured from canola oil and natural zeolite", *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 17(2): 336-349, (2015).
15. Shrestha S. S., Biswas K. and Desjarlais A. O. "A protocol for lifetime energy and environmental impact assessment of building insulation materials", *Environmental Impact Assessment Review*, 46: 25-31, (2014).

16. Fischer S. K., Fairchild P. D. and Hughes P. J. “Energy and global warming impacts of CFC alternative technologies for foam building insulations”, *Thermal Performance of the Exterior Envelopes of Buildings*, (1992), [Clearwater Beach, FL, available online at <http://web.ornl.gov/sci/buildings/2012/1992%20B5%20papers/011.pdf>].
17. Kosny J., Desjarlais A. and Yarbrough D. W. “A procedure for analyzing energy and global warming impacts of foam insulation in u.s. commercial buildings”, *ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings, Pacific Grove, CA*, (1998).
18. [available online at <http://www.osti.gov/bridge/servlets/purl/291014-tWcVBF/webviewable/291014.pdf>].
19. Pargana N., Pinheiro M. D., Silvestre J. D. and De Brito J. “Comparative Environmental Life Cycle Assessment of Thermal Insulation Materials of Buildings”, *Energy and Buildings*, 82: 466-481, (2014).
20. Bribián, I. Z., Capilla A. V. and Usón A. A. “Life cycle assessment of building materials: comparative analysis of energy and environmental impacts and evaluation of the eco-efficiency improvement potential”, *Building and Environment*, 46(5): 1133-1140, (2011).
21. Tettey U. Y. A., Dodoo A. and Gustavsson L. “Effects of different insulation materials on primary energy and co2 emission of a multi-storey residential building”, *Energy and Buildings*, 82: 369-377, (2014).
22. Saaty T.L. “Decision making with the analytic hierarchy process”, *International Journal of Services Sciences*, 1(1): 83-98, (2008).