

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ (CBS) ve ANALİTİK HİYERARŞİ YÖNTEMİ
(AHY) İLE ÜRETİLEN DEPREM TEHLİKE HARİTALARININ DUYARLILIK
ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mustafa Ali GÖKKAYA

Geomatik Mühendisliği Anabilim Dalı

Geomatik Mühendisliği Yüksek Lisans Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Turan Erden

MAYIS 2014

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ (CBS) ve ANALİTİK HİYERARŞİ YÖNTEMİ
(AHY) İLE ÜRETİLEN DEPREM TEHLİKE HARİTALARININ DUYARLILIK
ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Mustafa Ali GÖKKAYA
(501111614)**

Geomatik Mühendisliği Anabilim Dalı

Geomatik Mühendisliği Yüksek Lisans Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Turan Erden

MAYIS 2014

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501111614 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Mustafa Ali GÖKKAYA**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**COĞRAFI BİLGİ SİSTEMLERİ (CBS) ve ANALİTİK HİYERARŞİ YÖNTEMİ (AHY) İLE ÜRETİLEN DEPREM TEHLİKE HARİTALARININ DUYARLILIK ANALİZİ**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Doç. Dr. Turan Erden**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Doç. Dr. Turan Erden**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Himmet Karaman
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Arif Çağdaş Aydınoglu
Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü

Teslim Tarihi : **05 Mayıs 2014**
Savunma Tarihi : **27 Mayıs 2014**

Anneme ve aileme,

ÖNSÖZ

Tez çalışmam boyunca yapıcı fikir ve davranışlarıyla bana örnek olan, desteğini ve güvenini her zaman hissettiğim Danışman Hocam Doç. Dr. Turan ERDEN'e sevgi, saygı ve içtenliklerimi sunarım. Öneri ve yönlendirmeleriyle tezimin şekillenmesinde pay sahibi olan değerli Hocam Y. Doç. Dr. Himmet Karaman'a da içtenlikle sevgi ve saygılarımı sunarım.

Bugünlere gelmemde üzerimde büyük emeği olan, pozitif enerjisini ve sevgisini benden eksik etmeyen sevgili anneme ve aileme ne kadar teşekkür etsem azdır. İyi ki varsınız.

Mayıs 2014

Mustafa Ali Gökkaya
Harita Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xix
SUMMARY	xxi
1. GİRİŞ	1
2. AFET YÖNETİMİ ve COĞRAFI BİLGİ SİSTEMLERİ (CBS)	3
3. COĞRAFI BİLGİ SİSTEMİ ve ÇOK ÖLÇÜTLÜ KARAR ANALİZİ	9
3.1 Bilgi evresinde CBS	10
3.2 Tasarım evresinde CBS	10
3.3 Seçim evresinde CBS	11
3.4 Çok kriterli mekansal karar destek sistemleri	12
3.5 Çok kriterli mekansal karar destek sistemlerinin bileşenleri	12
4. ANALİTİK HİYERARŞİ YÖNTEMİ (AHY).....	15
4.1 Karar probleminin hiyerarşik olarak yapılandırılması	16
4.2 İkili bazda karar elemanlarının karşılaştırılması ve tutarlılık oranı (TO)'nun belirlenmesi	17
4.3 Önceliklerin sentezlenmesi	21
5. DEPREM PARAMETRELERİ VE ANALİZ KRİTERLERİ	23
5.1 Deprem Parametreleri	23
5.1.1 Topoğrafya (Eğim) (TP)	23
5.1.2 Depremin Merkezine Uzaklık (DU)	24
5.1.3 Zemin Sınıfı (TS)	24
5.1.4 Sıvılaşma Potansiyeli (SP)	24
5.1.5 Fay Mekanizması (FM).....	24
5.2 Analiz Kriterleri	26
5.2.1 Kriterlerin Sınıflandırılması.....	26
5.2.2 Kriterler Ağırlıklarının Belirlenmesi	30
5.2.3 Analizler için mekansal bir model	33
6. DUYARLILIK ANALİZİ.....	35
7. UYGULAMA.....	39
8. SONUÇLAR	51
KAYNAKLAR	54
EKLER.....	65
ÖZGEÇMİŞ.....	119

KISALTMALAR

AHY	: Analitik Hiyerarşi Yöntemi
AMF	: Ana Marmara Fayı
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemi
ÇK-KDS	: Çok Kriterli Karar Destek Sistemleri
ÇKKV	: Çok Kriterli Karar Verme
ÇK-MKDS	: Çok Kriterli Mekansal Karar Destek Sistemi
ÇÖKV	: Çok Ölçütlü Karar Verme
CPT	: Cone Penetration Test
CR	: Consistency Ratio
CRR	: Cyclic Resistance Ratio
CSR	: Cyclic Stress Ratio
DEM	: Digital Elevation Model
DTM	: Deprem Tehlike Haritası
DU	: Deprem merkezi olan Uzaklık
FM	: Fay Mekanizması
GPS	: Global Positioning System
KDS	: Karar Destek Sistemi
MKDS	: Mekansal Karar Destek Sistemi
NEHRP	: National Earthquake Hazards Reduction Program
NGA	: Next Generation Attenuation
ReMi	: Reflection Microtremer
RK	: Rastlantısal Katsayı
SEM	: Spektral Element Methodu
SP	: Sıvılaşma Potansiyeli
SPI	: Sıvılaşma Potansiyeli İndeksi
SPT	: Standart Penetrasyon Testi
TK	: Tutarlılık Katsayısı
TO	: Tutarlılık Oranı
TP	: Topoğrafya
ZS	: Zemin Sınıfı

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 4.1 : AHY ikili karşılaştırma ölçeği	18
Çizelge 4.2 : İkili karşılaştırma matrisi.	19
Çizelge 4.3 : Rastlantısal katsayı (RK) değerleri, Saaty (1980)'den türetilmiş.....	21
Çizelge 5.1 : Odak parametresine göre fay sınıflandırması.....	25
Çizelge 5.2 : Hesaplanan ölçütler ağırlık/öncelik kriter değer aralıkları ve atanan sınıf değerleri.....	27
Çizelge 5.3 : AMF Odak Parametreleri (Sato ve ark., 2004; Pulido ve ark., 2004; Ansal ve ark., 2009).	28
Çizelge 5.4 : Deprem tehlike haritası için ikili karşılaştırma anketi.....	31
Çizelge 5.5 : Tek karar verici (a) ve grup kararı (b) için tercih matrisleri (ikili karşılaştırma)	32
Çizelge 5.6 : Ağırlık/öncelik vektör kriteri.....	33
Çizelge A.1: TP ölçütü için duyarlılık analizi	66
Çizelge A.2: DU ölçütü için duyarlılık analizi	66
Çizelge A.3: ZS ölçütü için duyarlılık analizi	66
Çizelge A.4: SP ölçütü için duyarlılık analizi.....	66
Çizelge A.5: FM ölçütü için duyarlılık analizi	66
Çizelge A.6 : Parametrelere göre değer artırımın normal ağırlıklı raster'a göre mutlak fark değerleri toplamı	67

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Afet yönetiminde CBS (Cova, 1999).	6
Şekil 2.2 : CBS tabanlı bütünleşik afet yönetimi (ESRI, 2001'den uyarlanmıştır).	7
Şekil 3.1 : Karar verme sürecinin üç evresi.	9
Şekil 3.2 : ÇK-MKDS'nin genel mimarisi (Malczewski, 1999a).	13
Şekil 4.1 : AHY'nin genel yapısı	17
Şekil 5.1 : Fay Mekanizmasının (FM) görselleştirilmesi.	25
Şekil 5.2 : Ana Marmara Fay çizgisi ve odak parametrelerinin konumları.	29
Şekil 7.1 : Metodoloji akış şeması.	39
Şekil 7.2 : Deprem parametrelerinin ağırlıklarının oluşturulmasında kullanılan AHP ve CBS model algoritması (Karaman ve Erden 2014).	41
Şekil 7.3 : Parametrelere göre değer arttırımının baz alınan raster'a göre mutlak fark değerleri toplamı	43
Şekil 7.4 : DU ölçütünün ağırlık değerine göre diğer ölçütlerin ağırlık değerlerinin değişim grafiği.	44
Şekil 7.5 : FM ölçütünün ağırlık değerine göre diğer ölçütlerin ağırlık değerlerinin değişim grafiği.	45
Şekil 7.6 : SP ölçütünün ağırlık değerine göre diğer ölçütlerin ağırlık değerlerinin değişim grafiği.	46
Şekil 7.7 : TP ölçütünün ağırlık değerine göre diğer ölçütlerin ağırlık değerlerinin değişim grafiği.	47
Şekil 7.8 : ZS ölçütünün ağırlık değerine göre diğer ölçütlerin ağırlık değerlerinin değişim grafiği.	48
Şekil B.1 : Deprem parametrelerinin normal ağırlıklarıyla oluşturulmuş tehlike haritası.	68
Şekil B.2 : DU Ölçütü için % 0 ağırlık değeri baz alınarak yapılan analiz sonucu üretilen harita	69
Şekil B.3 : DU Ölçütü için % 10 ağırlık değeri baz alınarak yapılan analiz sonucu üretilen harita	70
Şekil B.4 : DU Ölçütü için % 20 ağırlık değeri baz alınarak yapılan analiz sonucu üretilen harita	71
Şekil B.5 : DU Ölçütü için % 30 ağırlık değeri baz alınarak yapılan analiz sonucu üretilen harita	72
Şekil B.6 : DU Ölçütü için % 40 ağırlık değeri baz alınarak yapılan analiz sonucu üretilen harita	73
Şekil B.7 : DU Ölçütü için % 50 ağırlık değeri baz alınarak yapılan analiz sonucu üretilen harita	74
Şekil B.8 : DU Ölçütü için % 60 ağırlık değeri baz alınarak yapılan analiz sonucu üretilen harita	75
Şekil B.9 : DU Ölçütü için % 70 ağırlık değeri baz alınarak yapılan analiz sonucu üretilen harita	76

Şekil B.10 : DU Ölçütü için % 80 ağırlık değeri baz alınarak yapılan analiz sonucu	
üretilen harita.....	77
Şekil B.11 : DU Ölçütü için % 100 ağırlık değeri baz alınarak yapılan analiz sonucu	
üretilen harita.....	78
Şekil B.12 : FM Ölçütü için % 0 ağırlık değeri baz alınarak yapılan analiz sonucu	
üretilen harita.....	79
Şekil B.13 : FM Ölçütü için % 10 ağırlık değeri baz alınarak yapılan analiz sonucu	
üretilen harita.....	80
Şekil B.14 : FM Ölçütü için % 20 ağırlık değeri baz alınarak yapılan analiz sonucu	
üretilen harita.....	81
Şekil B.15 : FM Ölçütü için % 30 ağırlık değeri baz alınarak yapılan analiz sonucu	
üretilen harita.....	82
Şekil B.16 : FM Ölçütü için % 40 ağırlık değeri baz alınarak yapılan analiz sonucu	
üretilen harita.....	83
Şekil B.17 : FM Ölçütü için % 50 ağırlık değeri baz alınarak yapılan analiz sonucu	
üretilen harita.....	84
Şekil B.18 : FM Ölçütü için % 60 ağırlık değeri baz alınarak yapılan analiz sonucu	
üretilen harita.....	85
Şekil B.19 : FM Ölçütü için % 70 ağırlık değeri baz alınarak yapılan analiz sonucu	
üretilen harita.....	86
Şekil B.20 : FM Ölçütü için % 80 ağırlık değeri baz alınarak yapılan analiz sonucu	
üretilen harita.....	87
Şekil B.21 : FM Ölçütü için % 100 ağırlık değeri baz alınarak yapılan analiz sonucu	
üretilen harita.....	88
Şekil B.22 : SP Ölçütü için % 0 ağırlık değeri baz alınarak yapılan analiz sonucu	
üretilen harita.....	89
Şekil B.23 : SP Ölçütü için % 10 ağırlık değeri baz alınarak yapılan analiz sonucu	
üretilen harita.....	90
Şekil B.24 : SP Ölçütü için % 20 ağırlık değeri baz alınarak yapılan analiz sonucu	
üretilen harita.....	91
Şekil B.25 : SP Ölçütü için % 30 ağırlık değeri baz alınarak yapılan analiz sonucu	
üretilen harita.....	92
Şekil B.26 : SP Ölçütü için % 40 ağırlık değeri baz alınarak yapılan analiz sonucu	
üretilen harita.....	93
Şekil B.27 : SP Ölçütü için % 50 ağırlık değeri baz alınarak yapılan analiz sonucu	
üretilen harita.....	94
Şekil B.28 : SP Ölçütü için % 60 ağırlık değeri baz alınarak yapılan analiz sonucu	
üretilen harita.....	95
Şekil B.29 : SP Ölçütü için % 70 ağırlık değeri baz alınarak yapılan analiz sonucu	
üretilen harita.....	96
Şekil B.30 : SP Ölçütü için % 80 ağırlık değeri baz alınarak yapılan analiz sonucu	
üretilen harita.....	97
Şekil B.31 : SP Ölçütü için % 100 ağırlık değeri baz alınarak yapılan analiz sonucu	
üretilen harita.....	98
Şekil B.32 : TP Ölçütü için % 0 ağırlık değeri baz alınarak yapılan analiz sonucu	
üretilen harita.....	99
Şekil B.33 : TP Ölçütü için % 10 ağırlık değeri baz alınarak yapılan analiz sonucu	
üretilen harita.....	100
Şekil B.34 : TP Ölçütü için % 20 ağırlık değeri baz alınarak yapılan analiz sonucu	
üretilen harita.....	101

Şekil B.35 : TP Ölçütü için % 30 ağırlık değeri baz alınarak yapılan analiz sonucu üretilen harita	102
Şekil B.36 : TP Ölçütü için % 40 ağırlık değeri baz alınarak yapılan analiz sonucu üretilen harita	103
Şekil B.37 : TP Ölçütü için % 50 ağırlık değeri baz alınarak yapılan analiz sonucu üretilen harita	104
Şekil B.38 : TP Ölçütü için % 60 ağırlık değeri baz alınarak yapılan analiz sonucu üretilen harita	105
Şekil B.39 : TP Ölçütü için % 70 ağırlık değeri baz alınarak yapılan analiz sonucu üretilen harita	106
Şekil B.40 : TP Ölçütü için % 80 ağırlık değeri baz alınarak yapılan analiz sonucu üretilen harita	107
Şekil B.41 : TP Ölçütü için % 100 ağırlık değeri baz alınarak yapılan analiz sonucu üretilen harita	108
Şekil B.42 : ZS Ölçütü için % 0 ağırlık değeri baz alınarak yapılan analiz sonucu üretilen harita	109
Şekil B.43 : ZS Ölçütü için % 10 ağırlık değeri baz alınarak yapılan analiz sonucu üretilen harita	110
Şekil B.44 : ZS Ölçütü için % 20 ağırlık değeri baz alınarak yapılan analiz sonucu üretilen harita	111
Şekil B.45 : ZS Ölçütü için % 30 ağırlık değeri baz alınarak yapılan analiz sonucu üretilen harita	112
Şekil B.46 : ZS Ölçütü için % 40 ağırlık değeri baz alınarak yapılan analiz sonucu üretilen harita	113
Şekil B.47 : ZS Ölçütü için % 50 ağırlık değeri baz alınarak yapılan analiz sonucu üretilen harita	114
Şekil B.48 : ZS Ölçütü için % 60 ağırlık değeri baz alınarak yapılan analiz sonucu üretilen harita	115
Şekil B.49 : ZS Ölçütü için % 70 ağırlık değeri baz alınarak yapılan analiz sonucu üretilen harita	116
Şekil B.50 : ZS Ölçütü için % 80 ağırlık değeri baz alınarak yapılan analiz sonucu üretilen harita	117
Şekil B.51 : ZS Ölçütü için % 100 ağırlık değeri baz alınarak yapılan analiz sonucu üretilen harita	118

COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ (CBS) ve ANALİTİK HİYERARŞİ YÖNTEMİ (AHY) İLE ÜRETİLEN DEPREM TEHLİKE HARİTALARININ DUYARLILIK ANALİZİ

ÖZET

Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) teknolojisi 1980'lerden başlayarak özellikle mekansal verilerin elde edilmesinde, yönetilmesinde ve analiz edilmesinde yeni bir bilgi işleme teknolojisi olarak belirmiştir. CBS tüm bu özelliklerinin yanında doğal kaynak yönetimi, bölgesel planlama ve afet yönetimi gibi birçok alanda bir karar destek tekniği olarak da uygulama alanı bulmuştur.

CBS'lerin karar destek sistemi olarak daha iyi hizmet verebilmeleri amacıyla iki yönelim tanımlanmıştır: birincisi Mekansal Karar Destek Sistemleri (MKDS)'nin analitik problem çözmeye dayalı olarak yapılandırılması; ikincisi analitik problem çözme modelleri ile CBS'lerin bütünsel bir yapıda kullanılmasıdır. Birinci yönelime göre MKDS'den problem çözme stratejilerinin belirlenmesi, değerlendirilmesi, analiz edilmesi ve duyarlılığın test edilmesi amacıyla modelleme, en iyileme ve benzetim teknikleri açısından yararlanılmıştır. Bu araçlar özellikle yarı yapısal mekansal karar verme problemlerinin çözümünde etkilidirler. İkinci yönelim ise CBS yazılımlarının istatistiksel yazılımlar veya analitik modellerle bütünlendirilmesine dayanarak CBS olanaklarının iyileştirilmesi üzerine odaklanmıştır. Bu perspektife göre CBS'nin haritalama, sorgulama ve mekansal modelleme fonksiyonları çevresel ve istatistiksel modeller için girdi verilerine ve bu verilerin farklı ölçeklerde gösterimi ve analizine olanak sağlamıştır.

Duyarlılık analizi girdi değerlerindeki değişikliklerin model çıktısı üzerindeki etkisi olarak tanımlanmaktadır. Duyarlılık analizi, bir model çıktı verisiyle çeşitli model girdi verisi arasındaki miktar ve kalitenin belirlenmesiyle ilgili bir çalışma olmaktadır. Duyarlılık analizi belirsizliklerin tanımlanması sürecinde yardımcı bir rol oynamaktadır. Bunlara ek olarak, duyarlılık analizi, model geliştirme ve modeli düzenleme aşamalarıyla ilgili modelin doğrulanmasına yardımcı da olmaktadır. Ayrıca duyarlılık analizinin bir başka kullanımı, özellikle kararların alındığı durumlarda model sonuçlarının sağlamlığı (gürbüzlüğü) üzerinde daha fazla fikir edinmek olduğu belirtilmektedir.

Duyarlılık analiz yöntemlerinin, karmaşık mühendislik sistemleri, ekonomi, fizik, sosyal bilimler, tıp ve diğer farklı araştırma alanlarında kullanılan etkin yöntemler oldukları kanıtlanmıştır. Çok ölçütlü karar verme (ÇÖKV) süreçleri CBS yeteneği ve bilgisine sahip araştırmacılar tarafından giderek artan ilgi odağı olmaktadır. Mekânsal planlama ve yönetim için en yararlı yöntemlerden biri olarak CBS tabanlı ÇÖKV gösterilmektedir. Son birkaç yıldır işbirliği kararlarını destekleyen araçlar olarak yaygın bir biçimde kullanılmaktadır. Arazi yerleşimine uygunluk değerlendirmeleri alanında, CBS ve ÇÖKV kombinasyonu bu alanda güçlü bir yaklaşım olduğu kanıtlanmıştır. Böyle bir yaklaşım, mekânsal olarak tanımlanmış temel birimler (vektör ve raster) ve harita katmanları olarak temsil edilen değerlendirme kriterlerini birleştirmektedir. Ancak, bu yaklaşımı uygulayarak bir

araştırmacı; karşılaştırılması mümkün olan her sorunun birimini sınıflandırmak amacıyla bir karar kuralları kümesi veya ağırlıklarını kullanarak nitelik değerleri ve karar vericinin tercihlerine dayalı kriter haritalarını üretmiş olmaktadır.

Bu çalışma ile CBS tabanlı AHY ile üretilen deprem tehlike haritalarının üretilmesinde kullanılan parametreler tüm modele olan etkileri duyarlılık analiziyle kontrol edilmiştir. Parametrelerin belirli oranlarla değiştirilmesiyle model çıktı verileri üzerindeki etkileri sayısal ve mantıksal olarak görselleştirilerek yorumlanmıştır. Çalışmada izlenen adımlar şu şekilde özetlenmektedir:

- Çözülecek problemin/amacın belirlenmesi (bu çalışmaya özel olarak AHY yöntemi ile oluşturulmuş deprem tehlike haritalarının duyarlılık testi).
- Kaynak taraması yapılarak ve AHY ile üretilmiş sonuç ürün olan deprem tehlike haritasının parametrelerinin belirli oranda artırım ve azalışlarla ağırlıklarının yeniden hesaplanması.
- Verilerin elde edilmesi ve amaca uygun formatta düzenlenerek CBS ortamına aktarılması.
- Raster veri gruplarının sınıflandırılması.
- Gerekli girdi ve çıktı verilerinin oluşturulabilmesi için oluşturulmuş CBS tabanlı araç kutusunun kullanılması.
- Yeni oluşturulan ağırlıklar yardımıyla yeni deprem tehlike haritalarının üretimi.
- Oluşturulan sonuç raster verilerinin yorumlamaya uygun belirli aralığa çekilmesi ve semboloji ile gösterilmesi.
- Ağırlık arttırımına tabi tutulmuş sonuç raster veri görseli ile girdi raster verilerinin karşılaştırılması ve yorumlanması.

CBS ile AHY'nin bütünleştirilmesi özellikle deprem tehlike haritaları için karar verme yöntemleri ile CBS'nin görselleştirme ve analiz fonksiyonlarını birleştirmekte ve bu süreç duyarlılık analiziyle bütünleştirilerek karar verme eylemini iyileştirmektedir. Duyarlılık analizi sayesinde karar vericiler seçtikleri parametrelerin model genelindeki etkilerini ve değişiklikleri izleyebilecek, model açısından verimlilik ve kaliteyi bu sayede arttırmış olacaklardır. Bu bağlamda, CBS, afet yönetimi ve mekansal karar verme yöntemleri beraberinde duyarlılık analizini izleyen bir çalışmayla, karar vericiler çalışmalarında daha sağlıklı bir yol izleyip, alınacak karar ve uygulamalarda gerek maddi, can/mal gibi kayıpları en aza indirmiş olacaklardır.

**SENSITIVITY ANALYSIS OF EARTHQUAKE HAZARD MAPS
PRODUCED BY GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS (GIS) AND
ANALYTIC HIERARCHY PROCESS (AHP)**

SUMMARY

In the early 1980s Geographical Information Systems (GIS) software emerged as a new information processing technology offering unique capabilities of automating, managing, and analysing a variety of spatial data. Many applications of GIS developed over the last decade provided information necessary for the decision-making in diverse areas including natural resource management, regional planning, and disaster management.

Two perspectives on developing better decision support capabilities of GIS can be identified, one based on analytical problem solving as a centrepiece of Spatial Decision Support Systems (SDSS) and another based on integration of GIS and specialized analytical models. According to first perspective, SDSS should offer modelling, optimization, and simulation functions required to generate, evaluate, recommend, and test the sensitivity or problem solution strategies. These capabilities are essential to solving semi-structured spatial decision-making problems. The second perspective on improving the decision support capabilities focuses on the expansion of GIS descriptive, prescriptive, and predictive capabilities by integrating GIS software with other statistical software and analytical models. According to this view, mapping, query, and spatial modelling functions of GIS can provide data display at different scales, preprocessing, and data input for environmental and statistical models.

GIS provides opportunities to decision makers with MCDM methods and SDSS besides selected parameter control and the need for sensitivity has emerged. Decision-makers through sensitivity analysis on selected parameters and models chosen by certain changes in the proportions of the parameter can monitor the impact and contribution of all models. Sensitivity analysis is defined as the evaluation of the impact or effect of changes in input values on the model outputs. Sensitivity analysis is the study of the ways in which the variation in the output of a model can be apportioned in terms of the quantity and quality among model inputs. It is indicated that it is possible for using sensitivity analysis as an aid in the process of identification of the important uncertainties. This use mainly aims at prioritizing additional data collection or research. In addition, another important role is played by sensitivity analysis in verifying and validating the model throughout the course of model development and refinement. It is also stated that another use of sensitivity analysis is to gain further insight into the robustness of model results especially in cases when decisions are made.

In this study, earthquake hazard maps produced by the GIS based AHP, Its parameters used in the creation was checked by sensitivity analysis of the effects through all the models. By changing the parameters of the model output with a

certain amount of data on the effects have been interpreted by visualizing numerical and logical. The steps followed in the study are summarized as follows:

- Definition of the problem/objective (As for this study earthquake hazard maps sensitivity testing was created by the method of AHP)
- Literature review was made and earthquake hazard maps of the final product produced by the AHP, parameter weights at a certain rate increases and reductions to be recalculated.
- Data collection and preparation and transfer to GIS environment.
- Classification of raster data sets.
- Input and output data required for using a GIS-based design of the tool box
- The weight of the newly created entering in toolbox which is designed by the help of GIS-based program producing of new earthquake hazard maps
- Output raster visual take into proper range that users can
- Created appropriate to interpret the results of raster data and symbology to be displayed with a certain range.
- Weights of the modified image raster data with the results of weights compared to the unmodified first input and interpretation of raster data.

In this study sensitivity analysis has applied to earthquake hazard map parameters which are respectively field topography (FT), source to site distance (DS), soil classification (SC), liquefaction potential (LP), fault/focal mechanism (FM). Their weights were calculated with AHP that determined weights as FT (6%), DS (38%), SC (24%), LP (22%) and FM (10%). Sensitivity analysis applied these each parameters with only one parameter weight range changes between 0%-100% and other parameters changes depend on this parameter. Sensitivity analysis indicated that in the model created with FT is more sensitive range between 0% and 20%, on the other range changes model is becoming meaningless. FT sensitivity range determined as 6% decreasing and 14% increasing. DS is the other parameter that sensitivity range between 30% and 50%. DS sensitivity range determined as 8% decreasing and 12% increasing. SC sensitivity range changes between 10% and 40%. SC sensitivity range determined as 14% decreasing and 16% increasing. LP is the other parameter that sensitive to range between 10% and 30%. LP sensitivity range determined as 12% decreasing and 8% increasing. FM sensitivity range between 0% and 20%. FM sensitivity range determined as 10% decreasing and 10% increasing.

For the application of the sensitivity analysis methods, it is proved there have been various methods used in different research fields such as the field of complex engineering systems, economics, physics, social sciences, medical decision making, and others. There has been an increasingly growing interest of researchers in integrating GIS capability with multi-criteria decision-making (MCDM) processes. Since integrating GIS-based MCDM as one of the most useful methods for spatial planning and management. It is important, there has been a widely increasing request for tools supporting collaborative decisions for the last few decades. In the area of land suitability assessments, it has been found that the combination of GIS and MCDM is proved to be a powerful approach in this area. This is because such approach combines a set of geographically defined basic units (e.g. polygons in vectors, or cells in rasters), and a set of evaluation criteria represented as map layers.

However, the problem which is possible to be encountered by a researcher in applying this approach is combining the criterion maps based on the attribute values and decision maker's preferences by using a set of decision rules, or weights for the purpose of classifying each unit into a suitability level.

The usefulness of the sensitivity analysis procedures is that they can help to reduce the uncertainty in the way how a MCDM method operates and the stability of its outputs by illustrating the effect of making slight changes to specific input parameters on evaluation outcomes. Moreover, it is perhaps relatively/more common for checking for changes regarding the criteria values to use sensitivity analysis for the analysis of changes in the weights given to the criteria. In the review of sensitivity analysis which focused on the ways how sensitivity analysis has been applied to GIS-based MCDM models, it is pointed that only little attention had been paid to the evaluation of the final results.

It is indicated that the most frequently used sensitivity analysis is based on the variation of the weights of the factors which are implied in the process to test whether it significantly modifies the results obtained. It is probable that the lack of insight provided into the spatial aspects of weight sensitivity is the most critical shortcoming of sensitivity analysis procedures found in limited GIS-Multi-criteria applications. Therefore, it is recommended that sensitivity analysis procedures should allow weight sensitivity to be visualized geographically and to facilitate the spatial analysis of sensitivity where it is appropriate.

Integration of GIS with AHP decision-making process, especially for earthquake hazard maps with GIS visualization and analysis that combines the functions and decision-making processes by integrating action is improving the sensitivity analysis. Model parameters has chosen by desicion makers thanks to the sensitivity analysis that may follow the general effects changes of the model in terms of productivity and quality will be increased in this way. In this context, GIS, disaster management and spatial decision making methods along with sensitivity analysis followed by an operation, decision-makers will follow more meaningful path in their work, decisions and practices to be applied that will minimize such losses life/goods and financial.

1. GİRİŞ

Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) teknolojisi 1980'lerden başlayarak özellikle mekânsal verilerin elde edilmesinde, yönetilmesinde ve analiz edilmesinde yeni bir bilgi işleme teknolojisi olarak belirmiştir. CBS tüm bu özelliklerinin yanında doğal kaynak yönetimi, bölgesel planlama ve afet yönetimi gibi birçok alanda bir karar destek tekniği olarak da uygulama alanı bulmuştur. Cowen (1988) karar destek fonksiyonlarından dolayı CBS'yi bir karar destek aracı olarak tanımlamıştır. Bazı araştırmacılar ise mevcut CBS'lerin bir karar destek sistemi olarak bazı yerlerde eksik kaldığını belirtmişlerdir (Densham ve Rushton, 1988; Densham ve Goodchild, 1989).

CBS'lerin karar destek sistemi olarak daha iyi hizmet verebilmeleri amacıyla iki yönelim tanımlanmıştır: birincisi Mekânsal Karar Destek Sistemleri (MKDS)'nin analitik problem çözmeye dayalı olarak yapılandırılması; ikincisi analitik problem çözme modelleri ile CBS'lerin bütünleşik bir yapıda kullanılmasıdır. Birinci yönelime göre MKDS'den problem çözme stratejilerinin belirlenmesi, değerlendirilmesi, analiz edilmesi ve duyarlılığın test edilmesi amacıyla modelleme, en iyileme ve benzetim teknikleri açısından yararlanılmıştır. Bu araçlar özellikle yarı yapısal mekânsal karar verme problemlerinin çözümünde etkilidirler. İkinci yönelim ise CBS yazılımlarının istatistiksel yazılımlar veya analitik modellerle bütünleştirilmesine dayanarak CBS olanaklarının genişletilmesi üzerine odaklanmıştır. Bu perspektife göre CBS'nin haritalama, sorgulama ve mekânsal modelleme fonksiyonları çevresel ve istatistiksel modeller için girdi verilerine ve bu verilerin farklı ölçeklerde gösterimi ve analizine olanak sağlamıştır (Jankowski, 1995).

CBS'lerin bir karar destek sistemi olarak işlev yüklenmelerine olanak sağlayan bu iki yönelim mekansal karar verme eylemi için daha iyi süreçler sağlamakla yükümlüdür. Bu çerçevede Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemleri mekansal karar destek araçları olarak yüksek potansiyele sahiptirler. Literatürde CBS ile çok kriterli

değerlendirme tekniklerinin bütünleştirilmesine katkı veren birçok uygulama mevcuttur (Carver, 1991; Eastman ve diğ. 1993; Jankowski, 1995).

Duyarlılık analizi girdi değerlerindeki değişikliklerin model çıktısı üzerindeki etkisi olarak tanımlanmaktadır (Frey ve diğ. 2004). Saltelli ve diğ. (2000) tarafından yapılan benzer bir tanımla duyarlılık analizi; bir model çıktı verisiyle çeşitli model girdi verisi arasındaki miktar ve kalitenin belirlenmesi ile ilgili bir çalışma olmaktadır. Duyarlılık analizi belirsizliklerin tanımlanması sürecinde yardımcı bir rol oynamaktadır (Frey ve diğ. 2004). Bunlara ek olarak, duyarlılık analizi, model geliştirme ve modeli düzenleme aşamalarıyla ilgili modelin doğrulanmasına yardımcı da olmaktadır. (Fraedrich & Goldberg 2000, Kleijnen & Sargent 2000). Ayrıca duyarlılık analizinin bir başka kullanımı, özellikle kararların alındığı durumlarda model sonuçlarının sağlamlığı (gürbüzlüğü) üzerinde daha fazla fikir edinmek olduğu belirtilmektedir (Saltelli ve diğ. 2000).

Dantzig (1963) duyarlılık analizinin amacını şu şekilde belirtmektedir: “Duyarlılık analizi karar verme modellerinin uygulanmasında ve etkin bir biçimde kullanılmasında temel bir kavram olarak belirlemektedir. Duyarlılık analizinin amacı, parametrelerin değişimi altında en uygun çözümün kararlılığını ve tutarlılığını değerlendirmektir”. Duyarlılık analizinde küçük ağırlık değişimlerine maruz bırakılan bir ölçütün değişimleri izlenerek herhangi bir ölçüt için kritik değerler belirlenmektedir. Karar verici de ilgilendiği çok ölçütlü karar verme probleminin hangi kritik kısmına daha fazla önem vermesi gerektiğini duyarlılık analizi ile saptamaktadır (Triantaphyllou ve Sanchez, 1997; Triantaphyllou, 2000).

Bu tez çalışmasında çok ölçütlü mekansal karar verme yöntemlerinden biri olan Analitik Hiyerarşi Yöntemi (AHY)’yle CBS ortamında oluşturulmuş deprem tehlike haritalarını duyarlılığını test etmek amaçlanmıştır. Tezin bu aşamadan sonraki bölümleri şu şekilde organize edilmiştir: 2. Bölümde Afet Yönetimi ve CBS; 3. Bölümde CBS ve Çok Ölçütlü Karar Analizi kavramı; 4. Bölümde Analitik Hiyerarşi Yöntemi; 5. Bölümde Deprem Parametreleri ve Analiz Kriterleri; 6. Bölümde Duyarlılık Analizi; 7. Bölümde Uygulama ve 8. Bölümde Sonuçlar.

2. AFET YÖNETİMİ ve COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ (CBS)

Teknoloji Coğrafi Bilgi Sistemlerinin (CBS) bir yandan teknik olarak gelişmesine diğer yandan da değişik disiplinlerde kullanımının yaygınlaşmasına neden olmaktadır. CBS tanımında genel olarak iki yaklaşım vardır: Teknolojik açıdan CBS tanımı, gerçek dünya konumsal verisini toplayan, depolayan, işleyen, dönüştüren ve gösteren oldukça güçlü araçlar bütünü olarak yapılmaktadır. Kurumsal açıdan ise CBS, konumsal verinin etkileşimi ile karar destekleme sistemidir. Her iki tanımın birleştirilmesinden elde edilen CBS tanımı ise, bağlı bulunduğu kurumun ihtiyaçlarına göre konumsal verinin toplanması, depolanması, işlenmesi ve gösterimini yapan, karar destekleme işlevi olan, sayısal bir bilgi sistemi biçiminde yapılabilir. Her bir kurum kendi işlevlerine bağlı olarak bir CBS organizasyonu yapar. Amacı ne olursa olsun CBS’de;

- veri girişi ve kodlama (sayısallaştırma, veri uygunluğu ve veri yapısı),
- veri işleme (veri yapısı ve geometrik dönüşümler, genelleştirme ve sınıflandırma)
- verinin yeniden işlenmesi (seçim, konumsal ve istatistiksel analiz)
- verinin sunumu (genellikle grafik sunum),
- bütünleştirilmiş verinin yönetimi

işlemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Konumla ilişkili veri geometrik karakterlidir. CBS veya sayısal görüntü işleme sistemlerinin ana çıkış biçimleri ekran haritaları veya basılı (analog) haritalardır. Görsel olarak desteklenen bir sistem ile isteyen herkes harita yapma konusunda özgürdür. Ancak, CBS projelerinin çoğunluğu veri giriş aşamasında iyi planlanmış ve doğru haritalara ihtiyaç duyarlar. Sonuçlarının sunumunda ise iyi tasarlanmış haritalar önem kazanır (Uluğtekin ve Bildirici, 1997).

CBS teknolojisi; mekansal verinin tüm şekilleri (çeşitleri) için veri analizine, gösterimine ve modellemesine bir çatı oluşturur. Bu anlamda CBS, haritanın icadından bu yana coğrafik bilgi kullanımında ileri doğru atılan en büyük adımdır (Dangermond, 1991; DoE, 1987; Masser ve Blakemore, 1991). CBS, sistem

analizlerini geliştirmek ve daha iyi çözümler üretmek için olanaklar doğurur. Ayrıca, birbiriyle ilişkili sistemlerin önemli uygulamalarında kullanım için ve bilgisayar teknolojisinde uygulanabilir bir sistemdir (Aangeenburg, 1991; Maguire ve diğ., 1991).

Harita üzerindeki bilgiler grafiksel olarak ifade edilebildiğinden, konuma dayalı grafik ve grafik olmayan nitelikleri açıklayabilen bilgilerin, bir bütün içinde aynı sistemde toplanıp analiz edilmesi gereğİ CBS'nin ortaya çıkmasına neden olmuştur. Bilgilerin tek bir sistem içerisinde toplanıp, depolanması, modellenerek analiz edilmesi, eldeki bilgilere hızlı ve güvenli bir ulaşımı sağlayacağından sistemin etkinliğı ve güvenilirliğı daha fazla olacaktır. Yeryüzü referanslı verileri analiz etme ve saklama, CBS tanımlamalarının temel karakteristiğini oluşturmaktadır (Star ve Estes, 1990).

CBS'nin genel uygulama alanları olarak bilgisayar tabanlı haritalama, arazi özelliklerinin analizi (arazinin yapısı, eğimi) toprak türü, trafik işlerliğı, askeri uygulamalar, jeoloji uygulamaları, su ve kar yapısının haritalanması, trafik, arazi ulaşım ve tarım planlaması, çevre ve doğal kaynakların yönetimi, eğlence yerlerinin planlanması, yer bulma - yer tahsis etme kararları, pazarlama, eğitim, hastane, polis, itfaiye gibi servis hizmetlerinin planlanması sayılabilir. CBS'nin orijini farklı bilimlere dayanmaktadır. Bunlar; bilgisayar, coğrafya, matematik, karar verme, istatistik, uzaktan algılama, mühendislik, veri işleme, planlama, çevre bilimi, peyzaj mimarlığı, modelleme, araştırma ve haritacılık olarak belirlenebilir. CBS'nin yeterince etkin, güçlü ve esnek olması için farklı disiplinlerin katkısı gereklidir (Tecim 1997).

Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS)'nden afet yönetiminde etkili ve güçlü bir analiz aracı olarak yararlanılmaktadır. CBS teknolojisi, veri kazanımı, depolanması, işlenmesi, analizi ve sunumu aşamalarında kullanıcı ve karar vericiye mekansal bilgi üretiminde destek sağlamaktadır. Afet yöneticileri, afet yönetiminde doğru kararları verebilmek için doğru bilgiye doğru formatta ulaşmak istemektedirler. Bu aşamada, hangi tür afetin nerede olduğı, olası afetler için öngörülerin ne olabileceğini ve olası bir afete etkin bir müdahalede mevcut kaynakların varlığı çok büyük önem kazanmaktadır. Afet yöneticileri olası afetleri öngörmek, gelişmeleri değerlendirmek, müdahale ve iyileştirme evrelerinde sürdürülen çalışmaları etkin bir biçimde yönlendirmeyi

amaçlamaktadırlar. Bu aşamaların bütününde CBS'den yararlanılmaktadır. Afet yönetimine CBS'nin katkısı aşağıdaki konu başlıklarıyla özetlenebilir:

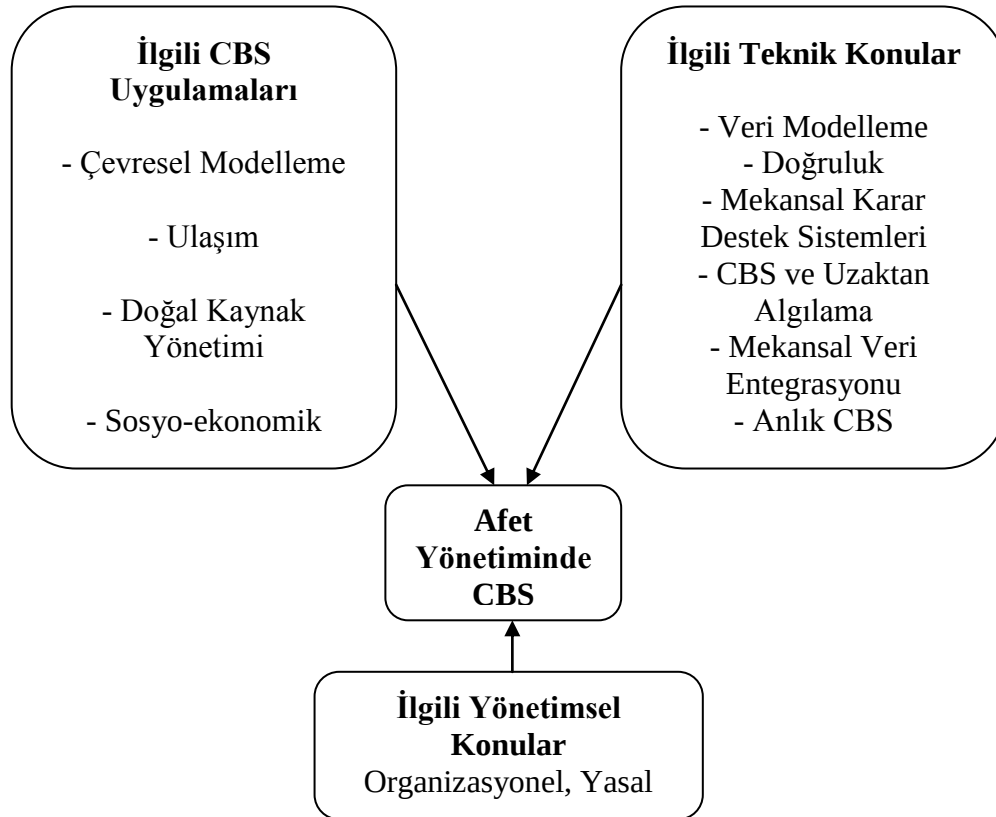
- Afet Tahmini (Disaster Forecast): Olası bir afetin sınırlarının belirlenmesi ve potansiyel bir afete maruz kalabilecek kritik tesislerin saptanması önem kazanır.
- Etkilebilirlik Analizi (Vulnerability Analysis): Özellikle zarar azaltma çalışmalarında önem arzeden kritik tesisler (hastaneler, geçici iskan yerleri, polis ve itfaiye merkezleri, travma merkezleri, barajlar) hakkındaki bilgilerin edinilmesi önem kazanır.
- Hasar analizi (Damage Assessment): Afet anında afetin gerçek etkisinin raporlanması ve analizi önem kazanır.
- Tehlikeli Madde analizi (Hazardous materials): Tehlikeli maddelerin çeşit ve miktarları ile tehlikeli madde depolarının yerlerinin belirlenmesi ve çevreyi tehdit edici olası durumların saptanması önem kazanır.
- Personel bilgisi (Personnel resources): Afet personeli hakkındaki tüm bilgiler önem kazanır (ikamet adresleri, iletişim adresleri, vardiya durumları gibi.).
- Kaynak envanteri (Resources Inventory): Karşılıklı yardım anlaşmalarının varlığı yanında ekipman ve araç-gereç bilgisinin varlığı önem kazanır.
- Altyapı bilgisi (Infrastructure): Elektrik, gaz, su ve atıksu hatlarının yanında ulaşım ağının durumu (otoyollar, demiryolları, köprüler, trafik kontrol noktaları, tahliye koridorları) önem kazanır.
- Geçici iskan yerlerinin durumu (Mass care/shelter status): afet anında kitle hareketlerinin tespiti ve afetzedeler için geçici iskan yerlerinin uygunluğunun ve kapasitesinin analizi önem kazanır.

CBS teknolojisi bu tip ihtiyaçlara cevap verdikçe afet yöneticileri de olası afetlerin büyüklüğünü belirlemekte, afetleri etkin bir biçimde yönetmede deneyimlerini zenginleştirmekte ve olası afetlerde oluşabilecek zararları en aza indirebilmektedirler (Gunes ve Kovel, 2000).

Olası bir afet doğası gereği mekansaldır (NRC, 2003). Örneğin, afet öncesinde olası bir afetin potansiyel etkisini analiz eden bir analist, afet esnasında en uygun tahliye

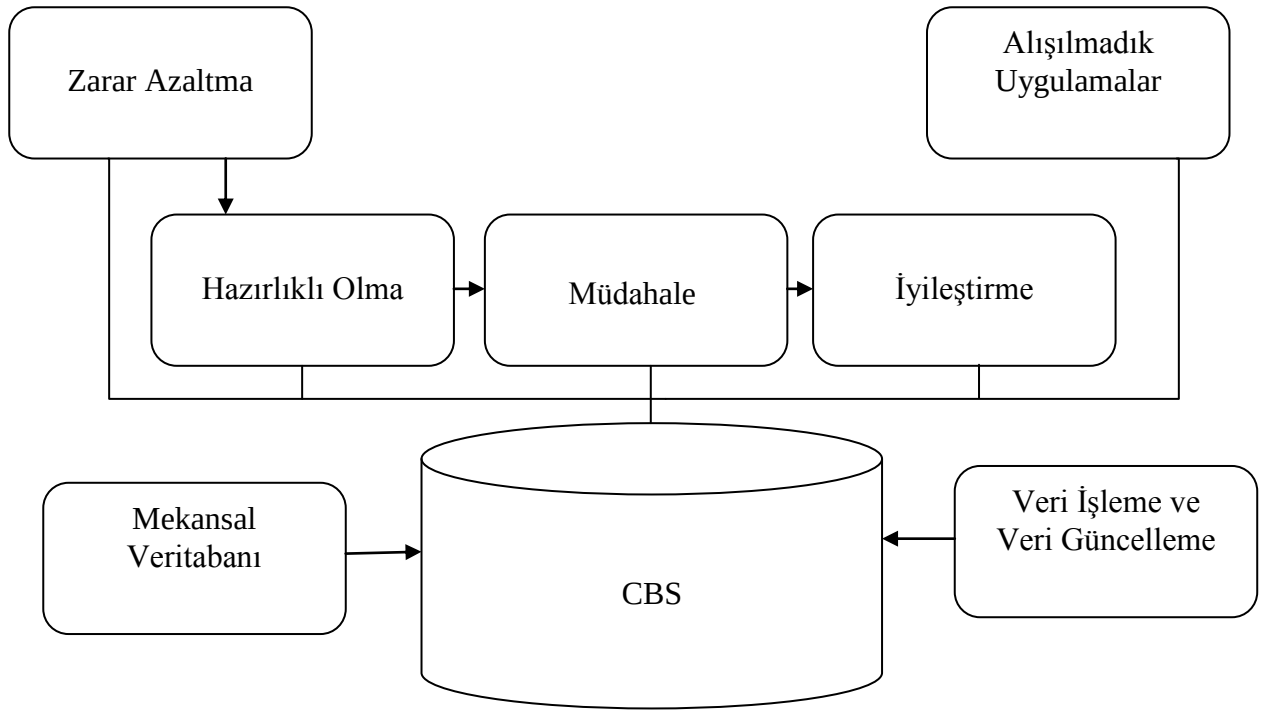
koridorlarını saptamaya çalışan bir afet yöneticisi veya afet sonrası planlama faaliyetlerinde bulunan bir bölge plancısı afetlerin doğası gereği bu mekansal bileşenle yüzyüze gelmek durumundadır. CBS, mekansal sorgulama ve analizler ile mekansal kararlara destek sağlamak amacıyla tasarlanmıştır. Afet yönetiminde CBS'nin değeri mekansal karar verme işlemine destek veren teknolojik altyapı ile kritik mekansal kararlara duyulan gereksinimi bütünleştirmesindedir. Bu amaçla son yıllarda afet yönetimi ve CBS, araştırmacıların ilgisini çeker hale gelmiştir (Cova, 1999). Araştırmacıların afet yönetiminde CBS'ye olan ilgisinin artmasına karşın bu araştırma alanı geliştirilmeye ve yeni uygulamalara çok elverişli bir alan olarak belirmektedir (Erden T., 2009).

Afet Yönetiminde CBS, çevresel modelleme, ulaşım, doğal kaynak yönetimi ve sosyo-ekonomik modelleme gibi CBS uygulamalarına olanak sağlamaktadır. Ayrıca veri modelleme, doğruluk, mekansal karar destek sistemleri, uzaktan algılama, mekansal veri entegrasyonu ve GPS bütünleştirmesi gibi teknik konular da afet yönetiminde CBS uygulamalarında söz sahibi olmaktadır (Şekil 2.1).



Şekil 2.1 : Afet yönetiminde CBS (Cova, 1999).

Afet yönetiminde CBS'nin rolü, varolan ve olası araştırmalara altlık sağlayacak bir kavramsal çerçeveyi oluşturmak açısından önem kazanmaktadır. Bu bağlamda, 1970'lerde US National Governor's Association tarafından geliştirilen Bütünleşik Afet Yönetimi (All-Hazards Comprehensive Emergency Management) afet literatüründe geniş uygulama alanı bulmuştur (Drabek ve Hoetmer, 1991; Waugh, 2000; FEMA, 2006; FEMA, 2004a; FEMA, 2004b; Haddow ve Bullock, 2006; Green, 2002). CBS tabanlı bütünleşik afet yönetimi, CBS teknolojisi ile afet çevriminin dört evresini bütünleştirmektedir. CBS, afet çevriminin tüm evrelerinde afet planlama ve analizini desteklemekte ve afet yönetimini iyileştirmektedir (Şekil 2.2; ESRI, 1999; ESRI, 2001). CBS'nin mekansal veritabanı olanakları, veri işleme ve güncellemesi ile bütünleştirilmekte ve afetlerin verimli bir şekilde yönetiminin başarılması sağlanmaktadır.



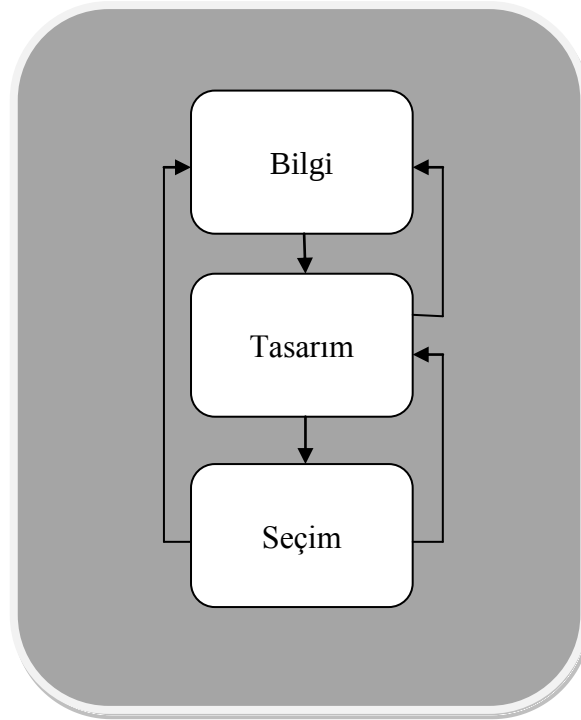
Şekil 2.2 : CBS tabanlı bütünleşik afet yönetimi (ESRI, 2001'den uyarlanmıştır).

Bütünleşik Afet Yönetimi zamansal boyutundan dolayı afet çevriminin dört evresinde (zarar azaltma, hazırlıklı olma, müdahale ve iyileştirme) afetlerin etkin bir biçimde yönetilmesine olanak sağlar. Bu bağlamda zarar azaltma ve hazırlık afet öncesi çalışmalar kapsamına girerken, müdahale ve iyileştirme afet esnası ve sonrası çalışmalar kapsamında değerlendirilir (Erden T., 2009).

3. COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMİ ve ÇOK ÖLÇÜTLÜ KARAR ANALİZİ

CBS'nin temel amacı mekansal karar verme sürecine destek sağlamasıdır. Bir CBS'nin yapabilirlikleri karar verme süreci bağlamında analiz edilebilir. Karar verme sürecinin analizinde kullanılabilecek birçok temel çerçeve mevcuttur. Bunlardan biri de karar analizi literatüründe genel kabul görmüş, Simon (1960) tarafından temellendirilen yaklaşımdır. Simon (1960), karar verme sürecini üç evrede incelemiştir. Bunlar (Şekil 3.1):

- a) Bilgi (Intelligence) (Problemin tanımlanması)
- b) Tasarım (Design) (Seçeneklerin oluşturulması)
- c) Seçim (Choice)'dir. (En iyi seçeneğin seçilmesi)



Şekil 3.1 : Karar verme sürecinin üç evresi.

Karar verme sürecinin bu üç evresi Şekil 3.1'ten-görüleceği üzere doğrusal bir akış izlememektedir. Karar verme sürecinin herhangi bir aşamasında geri dönüşler gerekebilmektedir. Örneğin, tasarım aşamasında birçok seçenek planı

oluşturulmasına rağmen bu planlar karar probleminin gerekliliklerini karşılamayabilir. Bu durum problem hakkında ek bilgiye sahip olmayı gerektirebilir. Mekansal karar analizinde önemli sorulardan biri řu olmaktadır: Karar vermenin bu üç evresinde CBS'den özellikle bilgi desteği sağlamada nasıl ve ne dereceye kadar yararlanılabilir? (Malczewski, 1999a; Malczewski, 1999b). İlerleyen alt bölümlerde bu üç evre incelenecektir.

3.1 Bilgi evresinde CBS

Karar verme süreci bir karar probleminin ortaya koyulmasıyla başlamaktadır. Bir mekansal karar problemi genel olarak mevcut bulunan ve arzulanan mekansal gerçek hayat problemleri arasındaki fark ile ilgilenir. Bu durum karar verici tarafından doldurulması gereken bir boşluk olarak görülmektedir. Kararlar, bir problemin varlığında, bir durumun olması gereken şekilde olmadığında ya da herhangi bir durumun iyileştirilmesi sözkonusu olduğunda alınır. Sonuç olarak bilgi evresinde karar olarak adlandırılan durumlar için karar verme ortamının araştırılması gerekmektedir. Bu evrede, karar problemini tanımlamaya yönelik olarak kullanılacak ham veriler: elde edilirler, depolanırlar ve işlenirler. Veri elde edilmesi, depolanması, tekrar kazanımı ve verinin yönetilmesi fonksiyonları gerçek hayat probleminin bir CBS veritabanı içerisinde betimlenmesine olanak sağlar. Bu durumda, gerçek hayat varlıklarının hangilerinin gözlenip, seçilip, elenip, sınıflandırılıp bir veri olarak kaydedilmesi büyük önem kazanmaktadır. Ayrıca bu verilerin hangilerinin mekansal karar problemiyle ilgili olduğu kararı da bu evrede verilmektedir.

Karar verme sürecine bilgi evresindeki destek CBS'den sağlanmaktadır. Mekansal verinin toplanmasında ve analizinde karşılaşılması olası sorunlar etkili ve etkin bir biçimde CBS ile aşılmaktadır. Mekansal karar vermenin ilk aşamalarında özellikle büyük hacimlerdeki veri ve bilgilerin depolanması ve yönetiminde CBS'ye büyük görevler düşmektedir.

3.2 Tasarım evresinde CBS

Bilgi evresinde tanımlanan problem için mümkün olan çözümler grubunun geliştirilmesi ve analizi tasarım evresinde yapılandırılır. Bu evrede genel olarak, karar vericiye, vereceği kararlarda destek sağlayacak seçeneklerin üretilmesini

sağlayan bir model oluşturulur. Bu model gerçekliğin basitleştirilmiş veya soyutlandırılmış bir gösterimidir. Basitleştirme işlemi gerçekliğin oldukça karmaşık ve birebir kopyalanamaz yapısından ileri gelmektedir. Ayrıca ilgilenilen özel problemden dolayı gerçeklik, konuyla ilgisiz veri ve bilgileri de içermektedir. Mekansal karar verme bağlamında bir model, verilecek karar ile ilgili özelliklerin bir veritabanı ile model tabanındaki gösterimidir. Bu evrede, karar problemi hakkında elde bulunan veri ve bilgiler bir karar durumu için yapılandırılmalıdır. Mekansal karar seçenekleri CBS’de depolanan veri ve bilgilerin manipulasyonu ve analizinden türetilir.

CBS genel olarak mekansal karar seçeneklerinin tasarımı sürecine destek sağlayan sistemler olarak tanımlanmasına rağmen, birçok CBS programı özellikle karar vericinin gereksinim duyabileceği ileri mekansal analiz ve modelleme konularında eksiktir (Keenan, 2003; Keenan, 2004). Karar seçeneklerinin üretilmesindeki CBS katkısı, bağlantılılık, devamlılık ve yakınlık gibi mekansal ilişkilere bağlı olmaktadır. CBS, özellikle mekansal karar verme sürecinde olası değişik varyasyonlara yer sağlaması açısından yeterince esnek değildir. Bu eksikliği gidermek için bir CBS platformu üzerinde karar verme teknikleri ile CBS fonksiyonlarının bütünleştirilmesi gerekmektedir. Bu bütünleştirme ile ilgili bilgi ilerleyen alt bölümlerde verilecektir.

3.3 Seçim evresinde CBS

Seçenekler tasarım evresinde üretilmesine rağmen seçeneklerin değerlendirilmesi seçim evresinde yapılmaktadır. Seçim evresi karar vericilerin kararlarını verdikleri evredir. Olanaklı olan birçok seçenek içerisinden en uygununun seçilmesini içerir. Belirlenen bir karar verme kuralı uyarınca, herbir seçenek değerlendirilir ve analiz edilir. Karar kuralları seçeneklerin önem derecelerine göre sıralanmasında kullanılır. Sıralama işlemi karar vericinin tercihlerine göre şekillenir.

Bu evrede CBS, karar vericinin tercihlerinin karar verme süreci içerisine dahil edilmesinde kritik bir öneme sahip olmaktadır. Genel olarak bir CBS, kriterlerin değerlendirilmesi bağlamında önceliğin ve seçimin gösterimine olanak sağlayamamaktadır (Carver, 1991). CBS, karar vericiye değerlendirme kriterlerinin öneminin değiştirilmesinde bir esneklik de sağlamamaktadır. Bu sınırlılık CBS’yi statik bir modelleme ortamı yapmaktadır. Bu bağlamda CBS’den bir karar destek sistemi olarak yararlanabilmek için karar verme tekniklerinin CBS içine dahil

edilmesi gerekmektedir (Carver, 1991; Eastman, 1997; Jankowski ve diğ., 1997). Bu durumda, bir CBS'nin karar verme sürecindeki başarısı, süreç içine dahil edilen sistemin bir mekansal karar destek sistemi olarak ne kadar iyi tasarımlanabileceği konusudur.

3.4 Çok kriterli mekansal karar destek sistemleri

Çok kriterli mekansal problemler birçok araştırmacı tarafından karar destek sistemlerinin özü olarak tanımlanmaktadır (Keen, 1987; Angehrn, 1992). Bazı araştırmacılar Çok Kriterli Karar Destek Sistemleri (ÇK-KDS)'ni KDS'nin temel uğraşı alanı olarak görürken (Keen, 1987; Eom ve diğ., 1993); bazı araştırmacılar da KDS'nin geliştirilmiş bir biçimi olarak tanımlamaktadırlar (Dyer ve Forman, 1991; Zapatero ve diğ., 1997). KDS'nin tüm tanımlamalarına bakıldığında çok kriterli karar verme işlemine destek sağlamayı amaç edindiği görülmektedir. Bu bağlamda Çok Kriterli Mekansal Karar Destek Sistemleri (ÇK-MKDS) de genel olarak Mekansal Karar Destek Sistemleri olarak terimlendirilmektedir. ÇK-MKDS mekansal karar verme işleminin çok ölçütlü karakteriyle ilgilenmektedir.

3.5 Çok kriterli mekansal karar destek sistemlerinin bileşenleri

Son yıllarda Çok Kriterli Mekansal Karar Destek Sistemleri (ÇK-MKDS) için birçok genel çerçeve (framework) tanımlanmıştır (Carver, 1991; Church ve diğ., 1992; Eastman ve diğ., 1993; Jankowski, 1995; Jankowski ve diğ., 1997). Genel olarak ÇK-MKDS Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) olanakları ile çok kriterli karar verme tekniklerinin bütünleştirilmesinden oluşturulmaktadır. Genel olarak bir ÇK-MKDS üç ana bileşenden oluşmaktadır:

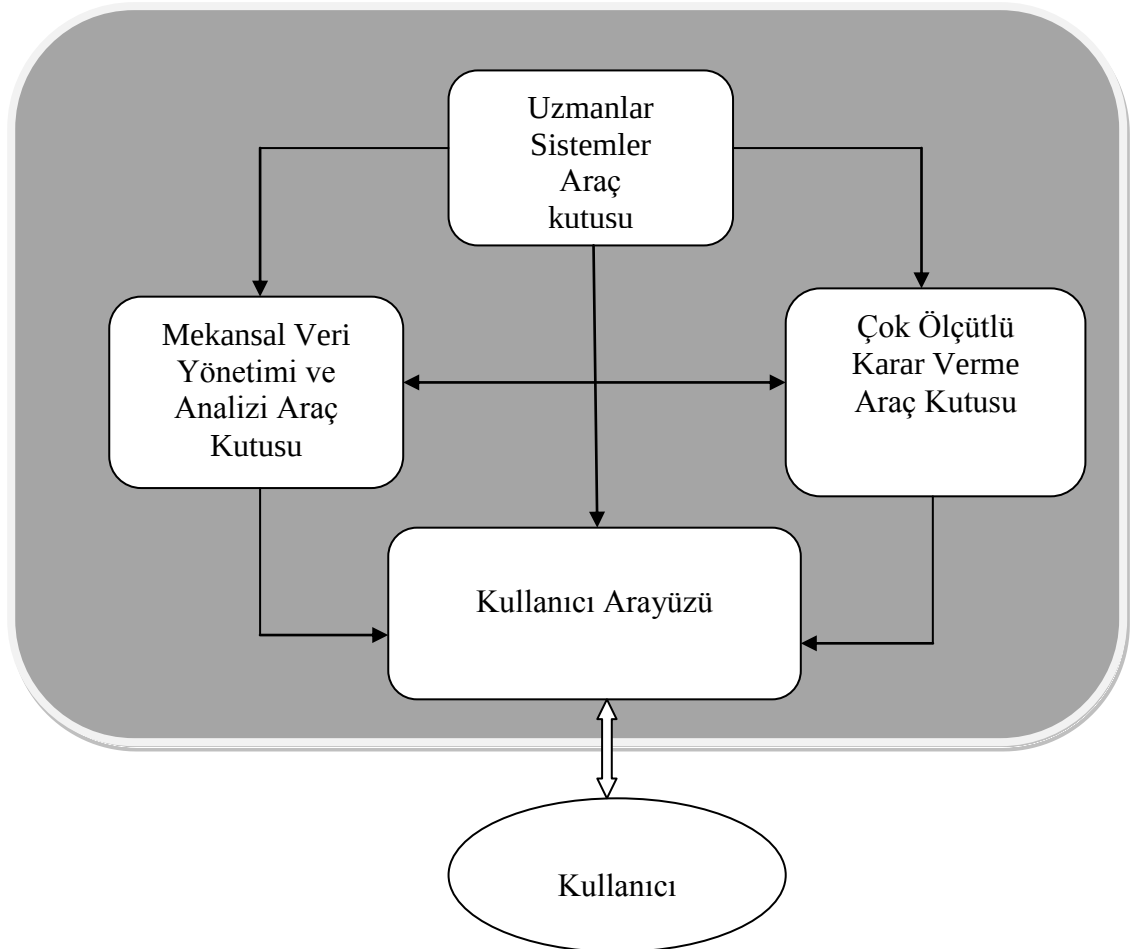
- a) CBS veritabanı
- b) Çok kriterli modeller
- c) Kullanıcı arayüzü

ÇK-MKDS bileşenleri çok kriterli mekansal karar analizinin bileşenleri bağlamında incelenmektedir. Bu genel çerçeve birçok problem çözme adımını içerir:

- a) veritabanının oluşturulması

- b) çok kriterli yapının geliştirilmesi (amaçlar ve ölçütler ile karar vericinin tercihleri arasındaki bağlantılar)
- c) karar seçeneklerinin üretimi
- d) seçeneklerin değerlendirilmesi
- e) duyarlılık analizinin yapılması
- f) uygulama aşaması için uygun olan seçeneğin seçilmesi

Tüm bu eylemler karar verme evrelerinin (bilgi, tasarım ve seçim) birer alt grubu olarak sınıflandırılmaktadır. Bu üç evrenin herbiri bilgisayar ortamında birbirinden bağımsız teknolojiler olarak depolanmaktadır. Bu birbirinden bağımsız teknolojiler, ÇK-MKDS ortamında, problem çözme işleminin herbir evresi için kullanıcı dostu bir arayüz aracılığıyla bütünleştirilmiştir. Sistem, belirli görevler için kullanılan araç kutularının (toolboxes) bütünleştirilmesinden oluşmaktadır. Her bir araç kutusu çok kriterli mekansal karar verme işlemine destek sağlayan araçları içermektedir. Şekil 3.2’de ÇK-MKDS’nin genel mimarisi gösterilmektedir.



Şekil 3.2 : ÇK-MKDS’nin genel mimarisi (Malczewski, 1999a).

Şekil 3.2’de görülen mimari üç temel bileşene sahiptir:

- a) Mekansal Veri Yönetimi ve Analizi Araç Kutusu (CBS-Uzaktan algılama teknikleri, veritabanı yönetim sistemleri, istatistiksel analizler, simulasyon, kartoğrafik modelleme, veri analizi, vb.)
- b) Çok Kriterli Karar Verme Araç Kutusu (tercih modelleme, çok kriterli karar verme kuralları, vb.)
- c) Kullanıcı Arayüzü.

Ayrıca, sistem, Uzman Sistem bileşenine de sahiptir. Burada uzman sistem yaklaşımı ÇK-MKDS’nin temel bileşenlerinin işletilmesi ile bu bileşenlere erişimin iyileştirilmesi aşamalarında kullanılmaktadır.

4. ANALİTİK HİYERARŞİ YÖNTEMİ (AHY)

1970’li yıllarda Thomas Saaty tarafından geliştirilen Analitik Hiyerarşi Yöntemi (AHY) birden fazla ölçüt içeren karmaşık problemlerin çözümünde kullanılan çok ölçütlü bir karar verme yöntemidir (Kuruüzüm ve Atsan, 2001). AHY, karmaşık problemleri amaç-ölçütler-alt ölçütler-seçenekler hiyerarşisi kurularak çözmeye olanak sağlamaktadır. AHY, genel olarak, problemi parçalara ayırma ve hiyerarşi oluşturma (decomposition), karşılaştırmalı karar verme ve tercih matrisinin oluşturulması (comparative judgement) ve önceliklerin sentezlenmesi (synthesis of priorities) olmak üzere üç temel prensibe dayanmaktadır (Saaty, 1977; Saaty, 1980).

Karar verme, tüm karar vericiler için büyük önem arzeden eylemlerden biridir. Karar vericiler, karar verme işleminin herhangi bir aşamasında çeşitli problemler ile yüzyüze gelmek durumundadırlar. Örneğin bir afet yöneticisi yeni ve ihtiyaç duyulan bir acil durum merkezi için en uygun yeri, bu yer için gerekli kaynakları ve tesisi işletmek için gereken mali kaynağı araştırmak durumunda kalabilir. Tüm bu karar verme problemleri yapılarından dolayı çok ölçütlüdür. Uygulamada çok ölçütlü mekanizmayı içeren ve karar verme işlemine destek sağlayan birçok yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemlerden biri Saaty (1977) tarafından geliştirilen Analitik Hiyerarşi Yöntemi-AHY (Analytic Hierarchy Process)’dir.

AHY geliştirildiği günden beri birçok alanda uygulama olanağı bulmuştur. Yer analizi (Min, 1994), kaynak tahsisi (Cheng ve Li, 2001; Ramanathan ve Ganesh, 1995; Badri, 1999), değerlendirme (Liang, 2003), pazarlama (Davies, 2001), enerji (Kim ve Min, 2004), eğitim (Saaty, 1991a; Tadisina ve diğ, 1991), risk analizi (Millet ve Wedley, 2002; Saaty, 1987), çevresel etki değerlendirme (Ramanathan, 2001), erişebilirlik analizi (Ohta ve diğ, 2007) ve arazi uygunluk analizi (Banai-Kashani, 1989) bu uygulama alanlarından bazılarıdır.

AHY öznel ve nesnel değerlendirme ölçütlerini içeren çok ölçütlü karar problemlerinin çözümünde kullanılan bir yöntemdir (Saaty, 1977).

AHY genel olarak üç temel prensibe dayanmaktadır: problemi parçalara ayırma ve hiyerarşi oluşturma (decomposition), karşılaştırmalı karar verme ve tercih matrisinin oluşturulması (comparative judgement) ve önceliklerin sentezlenmesi (synthesis of priorities) (Saaty, 1977; Saaty, 1980; Harker ve Vargas, 1987).

Parçalara ayırma prensibinde hiyerarşik bir yapı yaratılmakta ve problem bu hiyerarşik yapıya göre çözülmektedir. Karşılaştırmalı karar verme aşamasında ölçütler, çiftler şeklinde belirlenmekte ve birbirleriyle karşılaştırmalı olarak incelenmektedir. Herbir hiyerarşi düzeyinde belirlenen ağırlıklar genel bir ölçekte toplanıp sentezlenerek seçeneklerin önceliklendirilmesi aşamasında kullanılmaktadır. Bu üç temel prensibe göre Analitik Hiyerarşi Yöntemi aşağıdaki üç genel adımda oluşturulur.

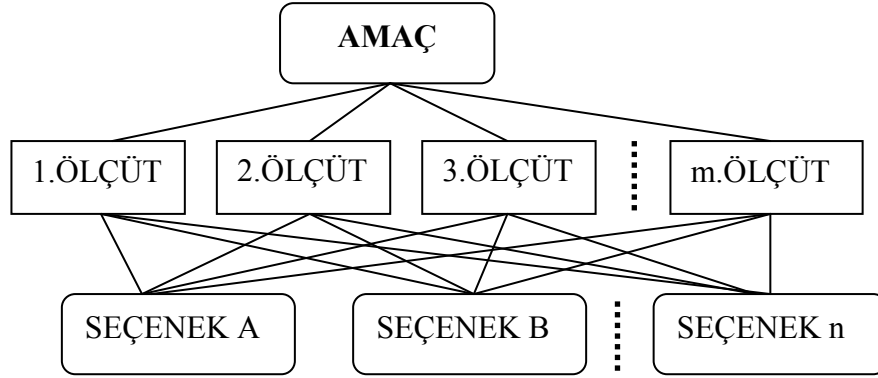
4.1 Karar probleminin hiyerarşik olarak yapılandırılması

Bilişsel psikoloji alanında yapılan deneysel çalışmalar insanların bilişsel yeteneklerinin yüksek miktarda veri karşısında zayıf düştüğünü göstermiştir. Bu yüzden insanlar karmaşık problemlerle karşılaştıklarında problemi daha iyi anlayabilmek amacıyla bileşenlerine ayırmışlar ve hiyerarşik olarak yapılandırmışlardır (Miller, 1956).

Analitik Hiyerarşi Yönteminin ilk aşaması karar probleminin hiyerarşik olarak yapılandırılmasıdır. Bu aşamada bir karar verme probleminin alt ögelere ayrılması ve bu ögeler arasındaki ilişkileri gösteren bir modelin oluşturulması amaçlanır. İlgili alt ögeler gruplanıp düzenlenerek hiyerarşik yapı oluşturulur. Bu yöntemde, genel bir amaç düzeyinden başlanıp daha spesifik olan alt düzeylere doğru aşağıya yönelen bir yapı izlenmektedir. AHY'nin genel yapısı Şekil 4.1'de gösterilmiştir. Her düzey bir üst veya alt düzeyle ilişkilidir. Amaç ile ölçütler arasında alt-amaçlar olabileceği gibi ölçütler ile seçenekler arasında alt-ölçütler tanımlanarak hiyerarşik yapı genişletilebilir.

Karar verici, hiyerarşik yapıyla, bir problem ile ilgili tüm detayları oldukça eksiksiz bir biçimde tanımlayabilmektedir. Hiyerarşinin, amaç, ölçütler ve seçenekler şeklinde düzenlenmesinin sağlayacağı yararlar aşağıda belirtilmiştir (Saaty, 1994b):

1. Karar probleminin doğasında olan karmaşık ilişkilerin tanımlanmasına olanak sağlayarak problemin kavranmasını kolaylaştırır.



Şekil 4.1 : AHY'nin genel yapısı.

2. Karar problemini modüler bir yapıya indirgeyerek problemin çözümünde etkinlik sağlar.
3. Sağlam ve esnek bir yapıya sahiptir. İyi yapılandırılmış hiyerarşide yapılacak küçük değişiklikler sistemin genel performansını etkilemez.

Tüm bunlara ek olarak hiyerarşik yapının tüm parçaları birbiriyle ilişkili olmakta ve bir faktördeki değişimin diğer faktörler üzerindeki etkisi kolayca görülebilmektedir. AHY'nin hiyerarşik yapısındaki bu esneklik ve etkinlik, karar vericiye, karar verme sürecinde büyük kolaylık sağlamaktadır. Kararlar bu yapıda kurularak, birçok veri türü bir araya getirilebilmekte ve farklı gözüken nesneler arasında karşılaştırma yapılabilmektedir (Saaty, 1994b).

4.2 İkili bazda karar elemanlarının karşılaştırılması ve tutarlılık oranı (TO)'nun belirlenmesi

İkili karşılaştırma yöntemi AHY içinde temel bir ölçme biçimidir. Bu işlem, özellikle herhangi bir anda karar verme aşamasında sadece ikili veri gruplarının birbirleriyle olan ilişkisine yöneldiğinden karar vermenin karmaşıklığını önemli derecede azaltmaktadır. İkili karşılaştırma yöntemi üç işlem adımını içerir. Bunlar:

- Hiyerarşinin her aşamasında bir karşılaştırma matrisinin oluşturulması
- Herbir hiyerarşi düzeyi için ağırlıkların hesaplanması

- Tutarlılık oranının belirlenmesi

Amaç, ölçüt ve alt ölçütler belirlendikten sonra, ölçüt ve alt ölçütlerin kendi aralarındaki önem derecelerinin belirlenmesi için ikili karşılaştırma matrisleri oluşturulur. Karar verici, bir düzeydeki öğelerin, hiyerarşide hemen bir üst düzeyde yer alan öğeler açısından göreceli önemlerini saptayacak şekilde Çizelge 4.1’de görülen değerler ve tanımlara dayalı bir puanlama yapar.

Çizelge 4.1 : AHY ikili karşılaştırma ölçeği.

<i>Önem Derecesi</i>	<i>Tanım</i>
1	Eşit öneme sahip
2	Eşit ile orta arası önemde
3	Orta öneme sahip
4	Orta ve güçlü arası önemde
5	Güçlü öneme sahip
6	Güçlü ile çok güçlü arası önemde
7	Çok güçlü öneme sahip
8	Çok güçlü ile çok çok güçlü arası önemde
9	Çok çok güçlü öneme sahip

Karar verici Çizelge 4.1’de belirtilen önem derecelerine göre ikili karşılaştırma matrisini oluşturur.

İkili karşılaştırma matrisinin elemanları terslik (reciprocal) kuralına uymaktadır. Örneğin, birinci ölçütün ikinci ölçüt üzerindeki önem derecesi 2 değerini alırken ikinci ölçütün birinci ölçüt üzerindeki önem derecesi $\frac{1}{2}$ yani 2’nin tersi olmaktadır:

$$a_{ji} = 1 / a_{ij} \quad (4.1)$$

Çizelge 4.2 : İkili karşılaştırma matrisi.

	1. Ölçüt	2. Ölçüt	3. Ölçüt	...	n. Ölçüt
1. Ölçüt	a_{11}	a_{12}	a_{13}	...	a_{1n}
2. Ölçüt	a_{21}	a_{22}	a_{23}	...	a_{2n}
3. Ölçüt	a_{31}	a_{32}	a_{33}	...	a_{3n}
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	...	$\vdots$
n. Ölçüt	a_{n1}	a_{n2}	a_{n3}	...	a_{nn}

Tüm ikili karşılaştırma matrisleri yukarıda sözü edilen kurallar uyarınca oluşturulduktan sonra ağırlık vektörü hesaplanır. Ağırlık vektörü Saaty (1980)'nin özvektör prosedürüne göre hesaplanır. Ağırlık vektörünün hesaplanması iki temel adımı içerir: Birincisi, ikili karşılaştırma matrisinin normalize edilmesi; ikincisi, normalize edilen değerlerden ağırlıkların hesaplanmasıdır.

İkili karşılaştırma matrisindeki her bir sütunun elemanları, o sütunun toplam değerine bölünür. Böylece $A_w = [a_{ij}^*]_{n \times n}$ olarak adlandırılan ve her sütundaki değerler toplamı 1'e eşit olan bir "Normalleştirilmiş İkili Karşılaştırma Matrisi" elde edilir.

Normalleştirme işlemi tüm $j = 1, 2, \dots, n$ için aşağıdaki eşitliğe göre yapılır:

$$a_{ij}^* = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}} \quad (4.2)$$

Elde edilen A_w matrisinde, her bir satırda yer alan elemanların aritmetik ortalaması alınır. Ağırlıklar, tüm $i = 1, 2, \dots, n$ değerleri için aşağıdaki eşitliğe göre hesaplanır:

$$w_i = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}^*}{n} \quad (4.3)$$

Bu aritmetik ortalama $(1 \times n)$ boyutlu matrisin ilgili satırını oluşturmaktadır. Bunun sonucu olarak, n boyutlu w ağırlık vektörü elde edilir:

$$w = [w_1, w_2, \dots, w_n]^T \quad (4.4)$$

Saaty (1980)'e göre ağırlık vektörü w ile ikili karşılaştırma matrisi A arasında aşağıdaki eşitlik mevcuttur (Saaty, 2008):

$$Aw = \lambda_{\max} w \quad (4.5)$$

$\lambda_{\max}$ değeri A matrisinin en büyük özdeğeri olarak adlandırılır. Bu terim ikili karşılaştırma matrisinin elemanları ile ağırlık vektörünün elemanlarının çarpılmasından oluşur. $\lambda_{\max}$ değeri AHY içinde önemli bir parametredir ve Tutarlılık Oranı (TO)'nın (Consistency Ratio (CR)) hesaplanmasında bir temel katsayı olarak işlev görmektedir (Saaty, 1991b; Saaty, 1994a; Chen, 2006). TO'nun hesaplanabilmesi için öncelikle bir Tutarlılık Katsayısı (TK)'nın hesaplanması gerekir. Saaty (1980)'e göre TK'nın hesaplanması için aşağıdaki eşitlik önerilmiştir:

$$TK = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (4.6)$$

n , burada, değerlendirilen ölçüt sayısını göstermektedir. İkili karşılaştırma matrisinin tutarlı olabilmesi için;

$$\lambda_{\max} = n \quad (4.7)$$

olmalıdır. Başka bir deyişle, $\lambda_{\max}$ değeri n değerine ne kadar yaklaşırsa, yapılan ikili karşılaştırmaların o kadar tutarlı olduğu düşünülür (Saaty, 1991b). Hesaplanan Tutarlılık Katsayısı (TK)'ndan anlamlı yorumlamalar yapabilmek amacıyla Saaty (1980) tarafından Tutarlılık Oranı (TO) terimi tanımlanmıştır:

$$TO = \frac{TK}{RK} \quad (4.8)$$

Burada RK, Rastlantısal Katsayı (Random Index) olarak adlandırılmaktadır. RK rastlantısal olarak belirlenmiş ikili karşılaştırma matrisinden türetilmiş bir katsayı değeridir. Çizelge 4.3'te Saaty (1980) tarafından seçilen ölçüt sayısına göre türetilmiş RK değerleri gösterilmiştir.

Çizelge 4.3 : Rastlantısal katsayı (RK) değerleri, Saaty (1980)'den türetilmiştir.

	<i>n=10 için türetilmiş Rastlantısal Katsayı (RK) değerleri</i>									
<i>n</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>RK</i>	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.46	1.49

Çizelge 4.3'ten de görüleceği gibi RK değerleri karşılaştırılan ölçüt sayısına bağlı olmaktadır. Ölçüt sayısı arttıkça RK değerleri de artmaktadır. Saaty (1980) tarafından, ayrıca, TO için bir üst limit de belirlenmiştir. Eğer $TO < 0.1$ olursa bu oran ikili karşılaştırmaların kabul edilebilir bir düzeyde olduğunu göstermektedir. Eğer TO 0.1 ise bu oranın değeri ikili karşılaştırmaların tutarsız olduğunu gösterir ki tüm işlemin en baştan tekrarlanması gerekir. Başka bir deyişle, ikili karşılaştırma matrisinin elemanları tekrar gözden geçirilmeli ve bu işlemlerden sonra yeni bir tutarlılık oranı hesaplanmalıdır.

4.3 Önceliklerin sentezlenmesi

Problemin çözümünün son aşaması tüm düzeyleri kapsayacak bir bileşik ağırlıklandırmanın yapılmasıdır. Bu işlem hiyerarşinin her düzeyinde herhangi bir ağırlığın belirli bir sırada diğer hiyerarşi düzeyindeki ilgili ağırlıkla çarpılmasından oluşmaktadır. İkinci düzeyden en alt düzeye kadar bu işlem adım adım devam ettirilmekte ve en son aşamada bir bileşik ağırlık vektörü elde edilmektedir.

5. DEPREM PARAMETRELERİ VE ANALİZ KRİTERLERİ

5.1 Deprem Parametreleri

5.1.1 Topoğrafya (Eğim) (TP)

Deprem tehlikesi açısından topoğrafyanın etkisi önemli bir faktör olmaktadır. Çelebi (1991)'de, belirli koşullar altında, sismik enerjinin topoğrafyanın etkisini arttırdığı vurgulanmaktadır. Sismik aktivitenin ve nüfus yoğunluğunun yüksek olduğu bölgelerde topoğrafyanın etkisi oldukça önem arz etmektedir. Bouchon ve ark. (1996), Boore (1972) ve Bouchon (1973)'un simülasyon çalışmaları sonucunda topoğrafyanın kayıt edilmiş ivmeleri daha da yükseltmekte olduğunu altını çizmektedir. Pedersen ve diğ. (1994) dağların zirvesindeki büyük ivme artışlarının bir sonucu olarak topoğrafyayı işaret etmektedir. Dolayısıyla bu bölgelere inşa edilecek yapıların da topoğrafyanın bu durumundan etkilenmesi kaçınılmaz olmaktadır. Le Brun ve diğ. (1999) da topoğrafyanın etkisini yansıtmak için geniş çaplı bir uygulama gerçekleştirmişlerdir. İlgili çalışmada topoğrafya, yer hareketinin frekansı üzerinde belirleyici olmaktadır. Deprem yer hareketi üzerindeki topoğrafya etkisini belirlemek için yapılmış bir çok uygulama mevcuttur. Bunlar; Sınır Yöntemi (Sanchez-Sesma (1983)), Spektral Element Yöntemi (SEM) (Komatitsch ve ark.(1999)), Rayleigh metodu (Paolucci (2002)) ve Green Fonksiyon Temel Çözümleri Yöntemi (Godinho ve diğ. (2009))'dir. Topoğrafya etkisini belirlemeye yönelik yapılan tüm bu çalışmalar bilim camiası tarafından tam olarak kabul görmüş değildir.

Tüm bunlara ek olarak bir bölgenin topoğrafyasının deprem yer hareketinin etkisini arttırıcı etkisinin olduğu geniş anlamda kabul görmektedir. Topoğrafya etkisinin belirlenebilmesi için yapılandırılan pratik yaklaşım eğim açıları yardımıyla etkileri saptamak ve sınıflandırmak için bir varsayım olarak Eurocode 8 part 5 (CEN 2004) içinde uygulanmıştır. Eurocode standartlarına göre topoğrafya, yükseklik ve eğim açısıyla birlikte kuvvetlendirici bir etkiye sahip olmaktadır.

5.1.2 Depremın Merkezine Uzaklık (DU)

Azalım ilişkileri genel olarak geçmiş depremlerin yer hareket kayıtları kullanılarak modellenmektedir. Geçmiş depremin büyüklüğü ve depremin merkezinin kayıt istasyonuna olan uzaklığı azalım ilişkisine uzaklık etkisi açısından belirleyici parametre olmaktadır. Büyüklük ve uzaklık bir deprem modelinin en önemli iki bileşeni olmaktadır. Bu yüzden depremin büyüklüğüne bağlı olarak uzaklığın etkisinin belirlenmesi bir tehlike haritasının simulasyonu için önemli bir faktör olmaktadır (Erden, T., ve Karaman, H., (2012)).

5.1.3 Zemin Sınıfı (TS)

Zemin sınıfları ilgili zemin etkisine dayanmakta ve buna göre saptanmaktadır. Zemin etkisi verilen bir deprem büyüklüğü ve uzaklık için bir zemin grubu içerisindeki hareketlerin ortalaması olmaktadır (Boore 2004). Çalışma bölgesinin detaylı toprak haritalarına dayanarak, zemin sınıflandırılması Ulusal Deprem Tehlike Azaltma Programı adlı (NEHRP) 1997 düzenlemelerine göre tespit edilmektedir. (National Earthquake Hazards Reduction Program (US) ve diğ., 2004). 30 m kayma hızı değerleri sınıflandırılmada kullanılmaktadır.

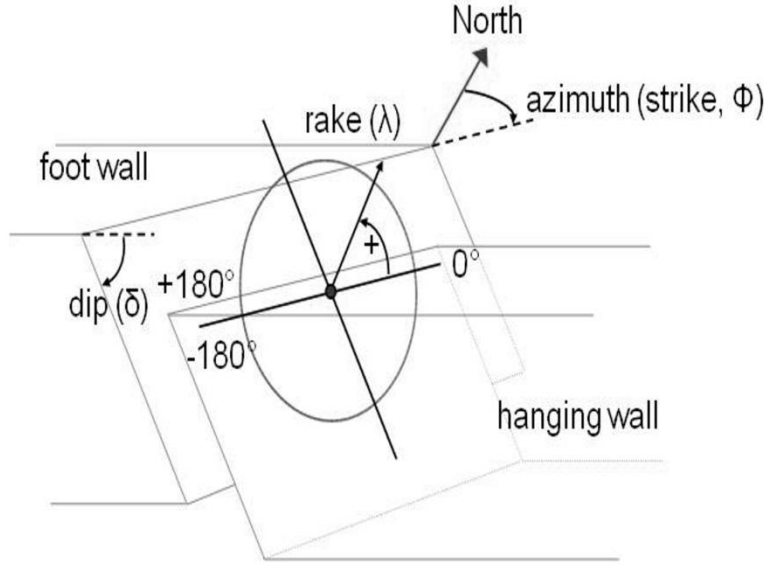
5.1.4 Sıvılaşma Potansiyeli (SP)

Sıvılaşma potansiyeli indeksi (SPI) sıvılaşma tehlikesinin mekansal analizi için önemli bir parametredir. Bu sayede 3 boyutlu bir olgunun gösterimi 2 boyutlu harita üzerinde başarılabilmektedir. (Luna and Frost, 1998). Luna ve Frost (1998)'de SPI, sıvılaşma bölgesinin uzanımı ve derinliğinin bir fonksiyonu olarak insan yapımı yapılar üzerindeki sıvılaşma etkisinin bir göstergesi olmaktadır. SPI ayrıca sıvılaşma etkisi ile bir korelasyon oluşturmaktadır (Toprak and Holzer, 2003).

5.1.5 Fay Mekanizması (FM)

Herhangi bir sismik bölgenin yineleme ilişkisi ve geometrisi bir bölgede azalım kurallarına göre tehlikenin düzeyini karakterize etmektedir (Ambraseys, 1995; Boore, 1997). Deprem esnasında kırılmaya uğrayan kısım aynı zamanda kırılmayı da başlatan kısım olmakta ve depremin odağı (hypocenter) olarak adlandırılmaktadır. Depremin odak geometrisi, ayak ve dayanım duvarlarının konumu ve yönelmesine dayanarak tanımlanabilmektedir. Depremin odak geometrisinin tanımı üç açı yardımıyla yapılabilmektedir: Doğrultu (Azimut), eğim ve atım açıları (Stein ve

Wyssession, 2003). Bu açılarla yardımıyla fay ve odak mekanizmasının görselleştirilmesi sağlanabilmektedir (Şekil 5.1 Elnashai ve Di Sarno 2008).



Şekil 5.1 : Fay Mekanizmasının (FM) görselleştirilmesi (Elnashai ve Di Sarno 2008)

Bu açılarla farklı kombinasyonları fay tiplerinin tanımında da kullanılabilmektedir. Deprem tehlike haritası oluşturma sürecinde fay tipleri depremin oluşumunu ve etkisini belirlediği için oldukça önem arz etmektedir. Temel fay tipleri ve ilgili odak parametreleri Çizelge 5.1’de görülmektedir.

Çizelge 5.1 : Odak parametresine göre fay sınıflandırması

Fay Tipi	Dalım Açısı (δ°)	Eğim Açısı (λ°)
Normal	$40 < \delta < 70$	negatif
Ters	$10 < \delta < 40$	pozitif
Doğrultu Atımlı	$\delta = 90$	$0 = \text{sinistal} / 180 = \text{dekstral}$
Yanal Atımlı	$0 < \delta < 90$	negatif=normal eğik/pozitif=ters eğik

5.2 Analiz Kriterleri

5.2.1 Kriterlerin Sınıflandırılması

Bu çalışmada Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS)'nin sorgulama, analiz ve görselleştirme olanaklarından yararlanılmaktadır. Sonuç ürün olarak harita, ürünün olası kullanıcıları için mekansal bilginin kartoğrafik standartlara dayalı olarak görselleştirilmesiyle oluşmaktadır. Kartografya bilimi, grafik işaretler, çizim teknikleri, projeksiyonlar, harita üretim ve çizim yöntemleri ile ilgili bir bilimdir. Schoppmeyer (1978) kartoğrafik gösterimlerde farklı renk tonlarına sahip tematik haritaların yedi renk tonu değerinden daha fazla sınıfa ayrılmaması gerektiğini vurgulamıştır. Bu görsel ve algısal kısıtlamayla bu çalışmada beş renk tonu değeri baz alınmaktadır. Sınıflandırma aralıkları için farklı yöntemler mevcuttur. CBS'de veri sınıflandırma yöntemleri: manüel, eşit aralıklı, yüzdelik dilim, doğal kırılmalar (jenks) ve standart sapma olarak isimlendirilmektedir (ESRI 2011). Manüel sınıflandırma yaparken kullanıcı, toplam aralığı maksimum ve minimum olmak üzere kullanıcı tanımlı özel aralıklara bölerken, eşit aralıklı sınıflandırmada ise toplam aralık minimum değerden maksimum değere kadar eşit alt aralıklara bölünmektedir. Bu iki yöntem uygulandığında anlaşılması ve yorumlanması oldukça kolay sonuç ürün haritalar oluşturmak olanaklı hale gelmektedir. Ayrıca bu iki yöntem, kullanıcı eğer sürekli verilerle çalışıyorsa, oldukça uygun olmaktadır (ESRI 2011). Çalışmada mekansal verinin sınıflandırılmasında her iki yöntem de (manüel ve eşit aralıklı) kullanılmaktadır. Çeşitli disiplinlerden elde edilen ve türetilen veri kümeleri, ilgili oldukları disipline ve ilgili disiplinin teknik yönetmeliklere göre sınıflandırılmaktadır.

Deprem merkezine olan uzaklığın kriter sınıflandırması çeşitli süreçlerden oluşmaktadır. Modelde kullanılacak deprem merkezinden uzaklığın elde edilebilmesi için ilgili bölgenin raster formatında bir haritasının grid poligonlar olarak vektör formata dönüştürülmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Daha sonra grid poligon verisi noktasal özelliğe sahip vektörel veriye dönüştürülüp deprem odak noktasından her bir noktaya olan uzaklıklar hesaplanmaktadır. Uzaklık değerlerinin hesaplanmasından sonra, her bir nokta bir poligon ile ilişkilendirilmekte ve sonuç poligon verisi uzaklık verilerinden yararlanılarak raster formata dönüştürülmektedir. Son olarak, elde edilen raster harita dört sınıfa ayrılmaktadır.

Zemin sınıfı türleri, çalışma alanının detaylı toprak haritaları kullanılarak derlenmektedir. JICA ve IMM (2002), DEE-KOERI (2003), HAZTURK (2007), İstanbul için proje raporları Karaman ve diğ. (2008a), Ince (2012), Douglas ve diğ. (2013) çalışmaları, NEHRP (2004) yer sınıflandırma şeması gibi çalışmalara dayanarak zemin sınıf haritasının sınıflandırma yöntemi seçilmektedir. Sınıflar, Ulusal Deprem Tehlikeleri Azaltma Programına ait (National Earthquake Hazards Reduction Program (NEHRP) (ABD) ve diğ. 2004) düzenlemelerine dayalı olarak belirlenmektedir. Zemin tür sınıflandırmasına 30 metre kayma hızı değerleri kullanılarak karar verilmektedir. Her bir sınıf için ilgili verilerin sınıflandırma aralıkları Çizelge 5.2’de gösterilmektedir.

Çizelge 5.2 : Hesaplanan ölçütler ağırlık/öncelik kriter değer aralıkları ve atanan sınıf değerleri.

Kriter	Sınıf Değerleri				Ağırlık/Öncelik
	1	2	3	4	
Topoğrafya (TP) (derece)	0-10	10-15	15-30	30<	0.06 (%6)
Deprem Merkezine olan Uzaklık (DM) (km)	22.21 - 19.80	19.80 - 17.38	17.38 - 14.97	14.97 - 12.55	0.38 (%38)
Zemin Sınıfı (TS) (ms^{-1})	800-760	760-360	360-180	180-50	0.24 (%24)
Sıvılaşma Potansiyeli (SP)	104-103	103-102	102-101	101	0.22 (%22)
Fay Mekanizması (FM)	0.45-0.53	0.53-0.61	0.61-.068	0.68-0.76	0.10 (%10)

Çalışma bölgesindeki temel fay hattı Ana Marmara Fay’ı (AMF) olarak adlandırılmaktadır ve farklı tipte faylar içermektedir. AMF odak parametreleri baz alınarak, fay hattı CBS’de modellenmektedir. Çalışma bölgesinin odak parametreleri AMF için derlenmiş üç farklı çalışmadan elde edilmektedir (Sato ve diğ. 2004; Ansal ve diğ. 2009; Pulido ve diğ. 2004). AMF odak mekanizması çalışmaları odak mekanizmasının AMF hattının çeşitli yerlerinde önemli farklılıklar olduğunu göstermektedir. Segmentlerin odak parametreleri ve segment nokta konumları Çizelge 5.3’te verilmektedir.

Çizelge 5.3 : AMF Odak Parametreleri (Sato ve ark., 2004; Pulido ve ark., 2004; Ansal ve ark., 2009).

FID	Segment	Boylam	Enlem	Doğrultu Açısı	Eğim Açısı	Atım Açısı
1	CMB1	27.570	40.735	81.5	90	180
2	CMB2	28.800	40.870	81.5	90	180
3	NBF1	28.800	40.870	110	90	-135
4	NBF2	29.305	40.732	110	90	-135
5	Asla1	28.477	40.835	81.5	90	180
6	Asla2	28.800	40.870	81.5	90	180
7	Aslb1	28.160	40.800	81.5	90	180
8	Aslb2	28.477	40.835	81.5	90	180
9	Asp21	28.800	40.870	110	90	-135
10	Asp22	28.970	40.825	110	90	-135

Pulido (2004)

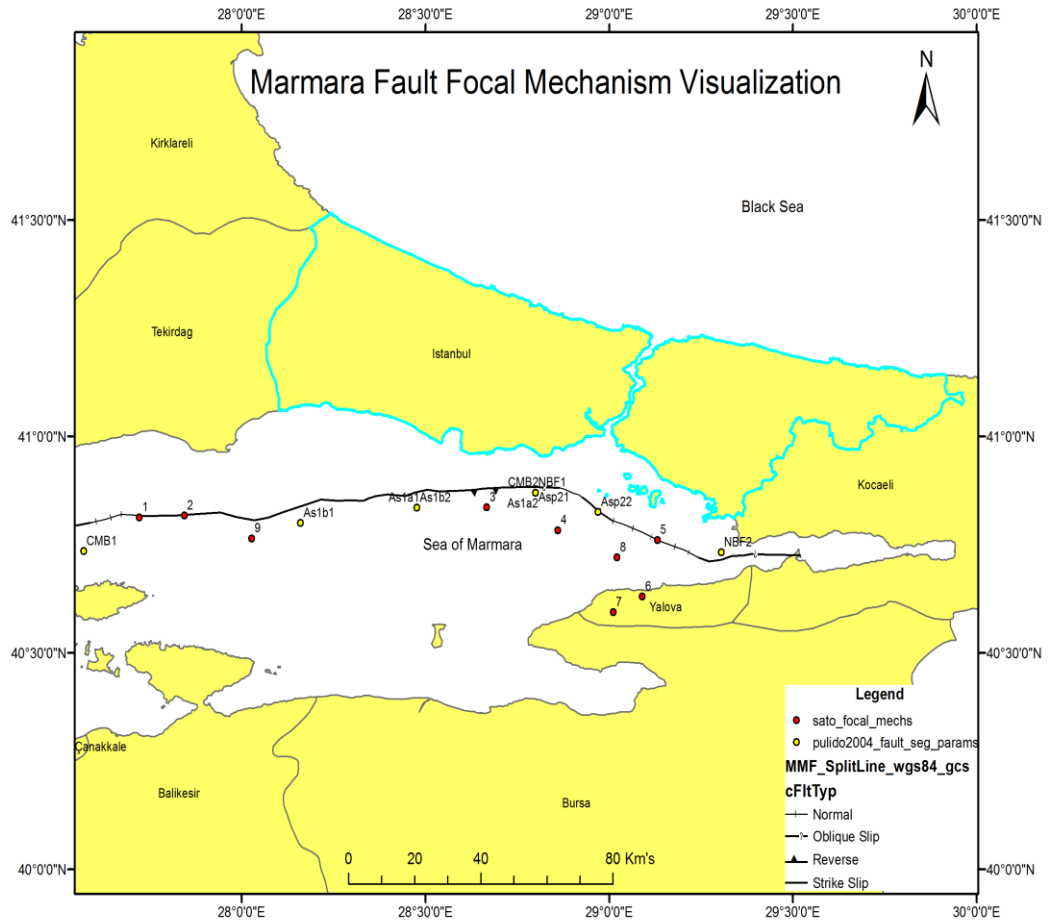
FID	Derinlik	Boylam	Enlem	Doğrultu Açısı	Eğim Açısı	Atım Açısı
1	10.1	27.7213	40.8132	0	80	-10
2	11.2	27.8441	40.8169	70	90	-180
3	7.1	28.6669	40.8362	280	90	170
4	10.6	28.8606	40.7832	120	50	-100
5	9.6	29.1313	40.7606	0	60	-30
6	6.5	29.0901	40.6297	240	50	-120
7	9.3	29.0109	40.5939	190	65	-40
8	5.3	29.0215	40.7201	120	40	-65
9	5.4	28.0273	40.7642	70	90	-180

Sato (2004)

FID	Segment	Boylam	Enlem	Doğrultu Açısı	Eğim Açısı	Atım Açısı
1	CMBE	28.8700	40.8900	81.5	90	180
2	CMBw	27.5900	40.8000	81.5	90	180

Ansal (2009)

Belirlenen odak parametreleri ve kooordinatlar CBS modeline aktarılmakta ve çizgisel olarak AMF'nin görselleştirilmesi sağlanmaktadır (Şekil 5.2).



Şekil 5.2 : Ana Marmara Fay çizgisi ve odak parametrelerinin konumları.

Boore ve Atkinson (2008)'in fay tipi etki modeli, odak mekanizmasının etkilerini hesaplamak ve sınıflandırmak için kullanılmaktadır. Boore ve Atkinson (2008) yeni nesil azalım modeli bu çalışma alanı için kullanılabilecek en güncel ve kapsamlı azalım modellerinden biri olmaktadır. Model Pasifik Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi Yeni Nesil Azalım Modelleri projesinin bir parçası olarak geliştirilmiştir ve temel avantajı deprem hareketini modellemede uygulanabilir her

tür fay tipi için parametreleri içermesidir. Bu azalım ilişkisi de bir deprem tehlike haritası oluşturmak ve çalışma sonuçlarını karşılaştırmak için kullanılmaktadır.

Topoğrafyanın deprem tehlike haritası üretilmesindeki etkisi çalışma bölgesinin sayısal yükseklik modelinden (DEM) türetilmiştir. Sayısal yükseklik modeli verisi ilgili raster hücrelerin eğim açıları ile Çizelge 5.2’de belirtilen aralıklara göre 5 sınıfa ayrılmış veriyi içermektedir. Sınıflandırma aralıkları Eurocode 8 yönergesi CEN (2004) göre belirlenmiştir.

Sıvılaşma potansiyeli haritası OYO (2007) çalışmasından elde edilmiştir. Bu çalışma raporuna dayanarak, sıvılaşma potansiyelini hesaplamak için, tekrarlı gerilme oranı (CSR) ve tekrarlı direnç oranı (CRR) kullanılmıştır. OYO (2007)’ye göre, sıvılaşma potansiyeli hesaplamaları standart penetrasyon testi (SPT) ve konik penetrasyon testi (CPT) sonuçlarının her ikisi kullanılarak tamamlanmıştır. Tekrarlı gerilme oranı (CSR) hesaplamasında Seed ve Idriss (1971) formülasyonu kullanılmıştır. Tekrarlı direnç oranı CRR hesaplamalarında da Robertson ve Wride (1998) yöntemi CPT ve SPT sonuçları için de Kayen ve diğ. (1992) yöntemi kullanılarak tamamlanmıştır.

Çalışmanın sıvılaşma kriteri için girdi verisi sıvılaşma potansiyel haritasının poligon tabanlı vektör verisetinden oluşturulmaktadır. Vektörel harita büyük sıvılaşma riski (AL)’den hiçbir sıvılaşma riski olmayan (EL)’ye kadar veri aralığını içeren bir raster veri kümesine dönüştürülmektedir. Sıvılaşma durumu sınıflandırılma sürecinde önemli bir role sahip olmaktadır (OYO 2007). EL sınıf değeri 1 iken, AL büyük risk potansiyeline sahiptir ve sınıf değeri 5 olmaktadır.

5.2.2 Kriterler Ağırlıklarının Belirlenmesi

Kriterlerin temel öncelik/ağırlıklarının belirlenmesi, konu alanı ile ilgili uzmanlar tarafından cevaplanan ikili karşılaştırma anketlerinin değerlendirilmesiyle başarılmaktadır. İkili karşılaştırma anketleri afet yönetimi/deprem konularında uzman ve farklı disiplinlerden oluşan akademisyenler tarafından bu çalışmaya özel olarak değerlendirilmiştir. Kriterlerin öncelik/ağırlık değerlerinin belirlenmesinde ikili karşılaştırma matrisi oluşturmak amacıyla Çizelge 5.4’teki ikili karşılaştırma anketi Saaty (1980) ikili karşılaştırma ölçeğine göre hazırlanmıştır.

İkili karşılaştırma anketi akademisyenlerin uzman görüşleri belirlemektedir. Katılımcılar mesleki disiplin olarak, inşaat, geomatik, jeoloji ve jeofizik mühendislerinden oluşmaktadır.

Çizelge 5.4 : Deprem tehlike haritası için ikili karşılaştırma anketi

Kriter	İkili Karşılaştırma																		Kriter
	Çok çok güçlü öneme sahip	Çok güçlü ile çok çok güçlü	Çok güçlü öneme sahip	Güçlü ile çok güçlü arası	Güçlü öneme sahip	Orta ve güçlü arası	Orta öneme sahip	Eşit ile orta arası	Eşit öneme sahip	Eşit ile orta arası	Orta öneme sahip	Orta ve güçlü arası	Güçlü öneme sahip	Güçlü ile çok güçlü arası	Çok güçlü öneme sahip	Çok güçlü ile çok çok güçlü	Çok çok güçlü öneme sahip		
	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
Topoğrafya (TP)																		DU	
																		ZS	
																		SP	
																		FM	
Deprem Merkezine Uzaklık (DU)																		ZS	
																		SP	
																		FM	
Zemin Sınıflandırması (TS)																		SP	
																		FM	
Sıvılaşma Potansiyeli (SP)																		FM	
Ad,Soyad																			
Ünvan																			
Eğitim																			

Çizelge 5.5(a)'da bir karar vericinin ikili karşılaştırma tercih matrisini temsil etmekten Çizelge 5.5(b)'de bir grup karar vericinin ikili karşılaştırma tercih matrisini temsil etmektedir.

Çizelge 5.5 : Tek karar verici (a) ve grup kararı (b) için tercih matrisleri (ikili karşılaştırma)

(a)

Kriter	TP	DU	TS	SP	FM
TP	1	0.2	0.2	0.2	0.5
DU	5	1	1	3	4
ZS	5	1	1	3	3
SP	5	0.33	0.33	1	3
FM	2	0.25	0.33	0.33	1
$\lambda_{\max}=5.2$		CI=0.05		CR=0.04<0.1	

(b)

Kriter	TP	DU	TS	SP	FM
TP	1	0.17	0.21	0.2	0.7
DU	5.99	1	1.7	1.96	3.32
TS	4.82	0.59	1	1.28	1.85
SP	5.12	0.51	0.78	1	2.27
FM	1.42	0.3	0.54	0.44	1
$\lambda_{\max}=5.1$		CI=0.01		CR=0.01<0.1	

Sürecin grup karar verme aşamasında her bir karar vericiye ait ikili karşılaştırma anketinin her bir hücresinin geometrik ortalamalarının alınması gerekmektedir (Golden ve diğ. 1989). Elde edilen tercih matrisi grup uzlaşmasının sağlandığı tercih matrisidir ve her bir kriter için öncelik/ağırlık vektörü bu tercih matrisi baz alınarak hesaplanmaktadır.

Bir grup karar verme için $\lambda_{\max}$, CI ve CR değerleri, beş kriter için ağırlık vektörü kullanılarak Çizelge 5.6'da hesaplanmıştır.

Çizelge 5.6 : Ağırlık/öncelik vektör kriteri

<i>Kriter</i>	<i>Ağırlık / öncelik (%)</i>
DU	0.38 (38)
FM	0.10 (10)
SP	0.22 (22)
TP	0.06 (6)
ZS	0.24 (24)

5.2.3 Analizler için mekansal bir model

Deprem tehlike haritalarının oluşturulabilmesi için ilgili çalışma bölgesinin verileri ve mekânsal bilgisi gerekli olmaktadır. Bu bilgi ve veriler CBS ortamında yönetilmektedir. Bu çalışmada ArcGIS platformunda veri oluşturma, düzenleme ve özel mekansal sorgulama ve analizler için ArcGIS yazılım paketinin bir aracı olan ModelBuilder uygulaması kullanılarak mekansal bir model üzerinden duyarlılık analizlerinin yapılandırılmasıyla başarılmaktadır.

6. DUYARLILIK ANALİZİ

Duyarlılık analizi girdi değerlerindeki değişikliklerin model çıktısı üzerindeki etkisi olarak tanımlanmaktadır (Frey ve diğ. 2004). Saltelli ve diğ. (2000) tarafından yapılan benzer bir tanımla: duyarlılık analizi, bir model çıktı verisiyle çeşitli model girdi verisi arasındaki miktar ve kalitenin belirlenmesiyle ilgili bir çalışma olmaktadır. Duyarlılık analizi belirsizliklerin tanımlanması sürecinde yardımcı bir rol oynamaktadır (Frey ve diğ. 2004). Bunlara ek olarak, duyarlılık analizi, model geliştirme ve modeli düzenleme aşamalarıyla ilgili modelin doğrulanmasına yardımcı da olmaktadır. (Fraedrich & Goldberg 2000, Kleijnen & Sargent 2000). Ayrıca duyarlılık analizinin bir başka kullanımı, özellikle kararların alındığı durumlarda model sonuçlarının sağlamlığı (gürbüzlüğü) üzerinde daha fazla fikir edinmek olduğu belirtilmektedir (Saltelli ve diğ. 2000).

Duyarlılık analiz yöntemlerinin, karmaşık mühendislik sistemleri, ekonomi, fizik, sosyal bilimler, tıp ve diğer farklı araştırma alanlarında kullanılan etkin yöntemler oldukları kanıtlanmıştır (Helton 1993, Merz ve diğ. 1992). Çok ölçütlü karar verme (ÇÖKV) süreçleri CBS yeteneği ve bilgisine sahip araştırmacılar tarafından giderek artan ilgi odağı olmaktadır. Mekansal planlama ve yönetim için en yararlı yöntemlerden biri olarak CBS tabanlı ÇÖKV gösterilmektedir (Chen ve diğ. 2007, Chen, Khan ve diğ. 2009, Joerin ve diğ. 2001, Karnatak ve diğ. 2007). Son birkaç yıldır işbirliği kararlarını destekleyen araçlar olarak yaygın bir biçimde kullanılmaktadır. Arazi yerleşimine uygunluk değerlendirmeleri alanında, CBS ve ÇÖKV kombinasyonu bu alanda güçlü bir yaklaşım olduğu kanıtlanmıştır. Böyle bir yaklaşım, mekansal olarak tanımlanmış temel birimler (vektör ve raster) ve harita katmanları olarak temsil edilen değerlendirme kriterlerini birleştirmektedir. Ancak, bu yaklaşımı uygulayarak bir araştırmacı; karşılaşılabilecek her sorunun birimini sınıflandırmak amacıyla bir karar kuralları kümesi veya ağırlıklarını kullanarak nitelik değerleri ve karar vericinin tercihlerine dayalı kriter haritalarını üretmiş olmaktadır. (Chen ve diğ. 2009).

Chen ve diğ. (2010) kriter ağırlıkları genellikle uyumsuzluk ve belirsizliğin büyük kaynağı olarak tanımlanmaktadır. Bu durum kısmen karar vericilerin kriterler hakkında mutlak bilinç eksikliğinden kaynaklanmaktadır. Bunun bir başka olası nedeni kriterlerin doğası ve ölçeğinin tanımlanmamış olmasıdır. Duyarlılık analizinin sayısal modellerin doğrulanmasında önemli bir faktör olduğu kanıtlanmıştır. Giriş veri grubundaki küçük değişikliklerle sonuç verisinin sağlamlığının ve modelin çalışabilirliğinin test edilmesi süreçlerinde duyarlılık analizinin kullanılması oldukça yararlı olmaktadır (Merritt ve diğ. 2005, Newham ve diğ. 2003, Ticehurst ve diğ. 2003, Zoras ve diğ. 2007).

Duyarlılık analizi ÇÖKV yöntemlerindeki belirsizlikleri azaltmaya ve çıkış verilerinin istikrarına yardımcı olmaktadır (Crosetto ve diğ. 2000). Ayrıca, bu kriterlere verilen ağırlık değişikliklerin analizi için duyarlılık analizini kullanma; kriter değerleri ile ilgili değişiklikleri kontrol etmek için daha yaygın olmaktadır. Delgado ve Sendra (2004) duyarlılık analizinin incelemesinde CBS tabanlı ÇÖKV'nin modellere nasıl uygulandığının yolları üzerinde durmakta, nihai sonuçların değerlendirilmesinde sadece biraz dikkatin yeterli olduğuna işaret etmektedir.

Ascough ve diğ. (2002)'de çok ölçütlü mekansal karar verme ortamı, karar vericinin ilgilendiği karar problemini tanımladığı, araştırdığı, tekrar tanımladığı ve kavradığı ortam olarak tanımlanmaktadır. Bu amacı gerçekleştirmek için duyarlılık analizlerinin CBS ortamında yapılandırılması gerekmektedir. Dolayısıyla duyarlılık analizi yöntemi karar vericilere oluşturdukları modeli daha kapsamlı bir şekilde kavramalarında destek olan bir yöntem olarak belirlemektedir.

Delgado ve Sandra (2004) duyarlılık analizinin CBS tabanlı ÇÖKV problemlerine nasıl uygulanabileceği konusunda bir inceleme yürütmüşlerdir. Yapılan incelemede sonuç ürünlerin değerlendirilmesine çok az önem verildiği görülmektedir. Duyarlılık analizi CBS tabanlı ÇÖKV uygulamalarında genel bir uygulama konusu olamamıştır. ÇÖKV uygulamalarında duyarlılık analizi hala doldurulması gereken ve olgunlaşmamış bir alan olarak görülmektedir. Kriter ağırlıklarındaki değişimin modelden üretilen sonuçlar üzerindeki etkisinin belirlenmesi en sık kullanılan duyarlılık analizi yöntemi olmaktadır. CBS tabanlı ÇÖKV uygulamalarına duyarlılık analizi yöntemlerinin uygulanmasındaki en kritik eksiklik kriterlerin ağırlık duyarlılığına mekansal bileşenin eklenmesindeki eksiklikten kaynaklanmaktadır.

CBS tabanlı ÇÖKV problemlerindeki duyarlılık analizi uygulamaları, CBS'nin mekansal analiz ve görselleştirme olanaklarından yararlanılarak, kriter ağırlık duyarlılığının mekansal olarak görselleştirilmesine ve ağırlık değişimlerinin mekansal analizlerle test edilmesine olanak sağlamaktadır (Feick ve Hall, 2004).

Dantzig (1963) duyarlılık analizinin amacını şu şekilde belirtmektedir: “Duyarlılık analizi karar verme modellerinin uygulanmasında ve etkin bir biçimde kullanılmasında temel bir kavram olarak belirmektedir. Duyarlılık analizinin amacı, parametrelerin değişimi altında en uygun çözümün kararlılığını ve tutarlılığını değerlendirmektir”. Duyarlılık analizinde küçük ağırlık değişimlerine maruz bırakılan bir ölçütün değişimleri izlenerek herhangi bir ölçüt için kritik değerler belirlenmektedir. Karar verici de ilgilendiği çok ölçütlü karar verme probleminin hangi kritik kısmına daha fazla önem vermesi gerektiğini duyarlılık analizi ile saptamaktadır. İlgili ölçütlere uygulanacak duyarlılık analizi için aşağıdaki eşitlik kullanılmıştır (Triantaphyllou ve Sanchez, 1997; Triantaphyllou, 2000):

$$\omega_j = (1 - \omega_i) * \left(\frac{\omega_j^0}{(1 - \omega_i^0)} \right) \quad (6.1)$$

ω_j ; j. ölçütün duyarlılık analizinde kullanılacak yeni ağırlık değerini göstermektedir. ω_i ise duyarlılık analizinde ağırlık artımına veya azaltımına tabi tutulan i. ölçütün yeni ağırlık değeridir. ω_i^0 ve ω_j^0 ağırlık değerleri ise sırasıyla i. ve j. ölçütlerin duyarlılık analizine tabi tutulmadan önceki ağırlık değerleri olmaktadır.

Bir çok disiplinin de kendi alanlarındaki uygulamalarda kullandığı duyarlılık analizine örnek uygulamalar aşağıdaki gibi özetlenmiştir.

Kocabaş ve diğerleri (2004) CBS tabanlı hücrel otomasyon modeli üzerinde duyarlılık analizi çalışması yapmıştır. Bu çalışma ile hücrel otomasyona etki eden belirsizliği araştırma amaçlanmıştır. Çalışma ile hücrel otomasyon modelinin davranış ve sınırları belirlenmiş olup, sonuç senaryolar için daha gerçekçi modeller üretilmesinde yardımcı olmuştur.

Hasmedi ve diğerleri (2008) dağlık orman alanlarında uygun ulaşım yollarına yönelik CBS duyarlılık analizi tabanlı bir çalışma yürütmüşlerdir. Uygulamada Malezya yarımadasındaki ormanlık alanda sayısal yükseklik modeli ile oluşturulmuş raster veriler üzerinden başlangıç ve bitişi en uygun ulaşım yolu olarak verecek şekilde duyarlılık analizi ile birleştirilmiş bir model geliştirilmiştir. Model

çıkıntısındaki parametrelerdeki belirsizliklerin giderilmesinde ve çevre ekosistemine verilecek zararın aza indirilmesinde CBS tabanlı duyarlılık analizi etkili olmuştur.

Al-Mashreki ve diğerleri (2011) Sorgum bitkisi için arazi uygunluk değerlendirme çalışmasında CBS tabanlı çok ölçütlü ağırlıkların duyarlılık analizini gerçekleştirmiştir. Çalışmada girdi verisi olarak kullanılan iklim, toprak, eğim ve erezyon kriterleri üzerinden duyarlılık analizi yapılmış ve sonuç modelleri incelenmiştir. Model toprak ve eğim parametrelerine çok duyarlı iken, iklim ve erezyon parametrelerine sadece duyarlı olduğu belirlenmiştir. Çalışma sorgum bitkisi için her parametrenin uygun ağırlıkta olmasının önemini vurgulamaktadır.

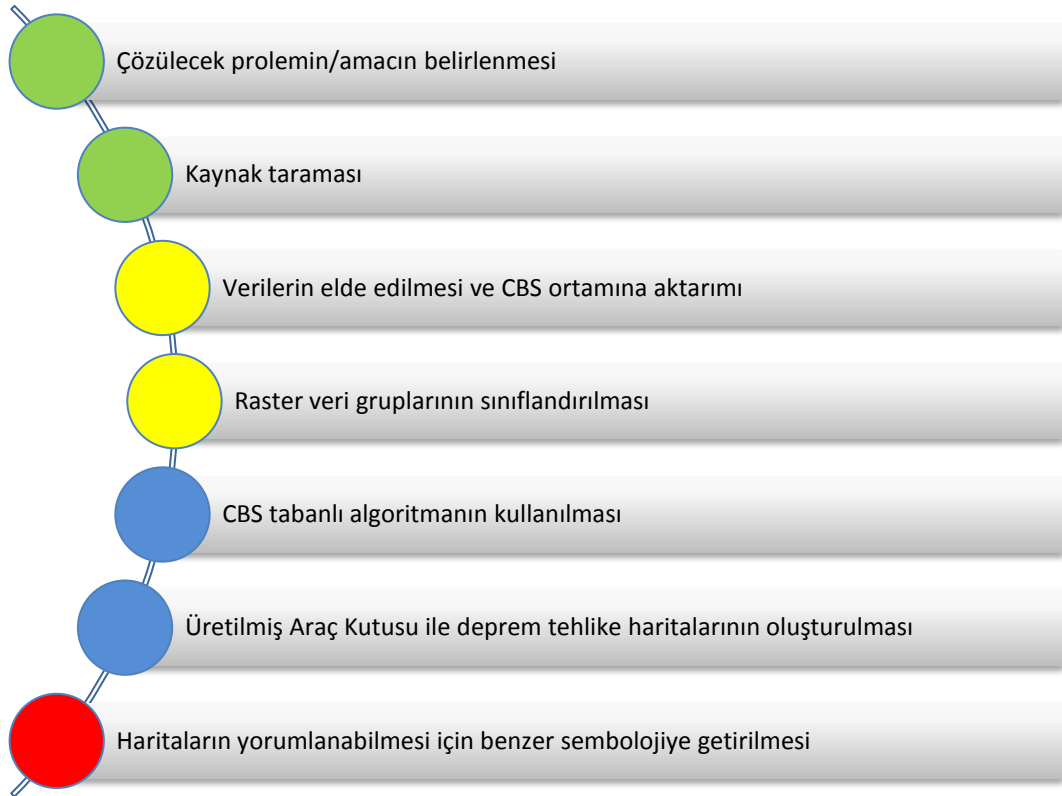
Feizizadeh ve diğerleri (2013) heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesinde duyarlılık analizi yöntemlerini kullanmıştır. Çalışmaya göre duyarlılık alanları heyelan tehlikesi potansiyeli olabilecek alanlar teşhis veya rastgele kriterlere göre ÇÖKV yönteminin duyarlılık analizi uygulaması birleştirilerek bulunmuştur. Çalışmanın sonucu göstermiştir ki CBS tabanlı ÇÖKV yönteminin duyarlılık analiziyle beraber uygulanmasında AHY ile elde edilen ağırlıklara geliştirici bir etki katarak doğruluklarını arttırmıştır.

Mair ve diğerleri (2013) kanalizasyon kanalı modeli üzerinde CBS tabanlı duyarlılık analizini uygulamıştır. Bu çalışmanın yapılmasındaki amaç çevresel modellerin uygulanmasında veya geliştirilmesinde, sistemin davranış modellerini açığa çıkarmak ve model parametre etkileşimlerini anlamada ve geliştirilmesine yardımcı olmaktır. Çalışma sonucunda CBS tabanlı duyarlılık analizinin kanalizasyon kanalı model parametrelerinin analizi, tartışılabilirliği, yorumlanabilirliği ve mekansal boyutu açısından yararlı olduğu görülmüştür. Bu çalışma ile kanalizasyon kanalları için kapsamlı görünüm modelleri üretmeye yöneltmiştir.

Xu ve diğerleri (2013) mekansal arazi uygunluk değerlendirmesinde duyarlılık analizi üzerine çalışmıştır. Duyarlılık analizi mekansal görselleştirme ve özet gösterge çiftlerinden oluşmaktadır. Duyarlılık analizinin sonucunda arazi uygunluk değerlendirmesinin ağırlıklara ve tek boyutlu mekansal kritere bağlı olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

7. UYGULAMA

Bu çalışmada depreme etki eden parametreler üzerinden Analitik Hiyerarşi Yöntemi (AHY) (Saaty, 1980) ve CBS yardımıyla oluşturulmuş Küçükçekmece İlçesi için deprem tehlike haritalarının CBS ortamında duyarlılık analizleri yapılandırılmıştır. Gerçekleştirilen bu çalışmalar ile karar vericilere oluşturulan modelin duyarlılığı hususunda destek sağlanması amaçlanmaktadır. CBS'nin görselleştirme ve mekansal analiz olanaklarından yararlanarak kriter ağırlıklarının duyarlılık analizleri CBS ortamında yapılandırılmaktadır. Kriter ağırlıkları uzman görüşleri alınarak daha önceden belirlenmiş, kriterler ağırlıkları oranında mekansal analizlere tabi tutulmuş ve deprem tehlike haritaları oluşturulmuştur. Deprem tehlike haritalarını oluşturan kriter ağırlıkları belirli aralıklarla değişime uğratarak modeldeki değişimin aralığı ve miktarı belirlenmekte ve test edilmektedir. Çalışmanın uygulama aşamasında izlenen adımlar şu şekilde özetlenebilir:

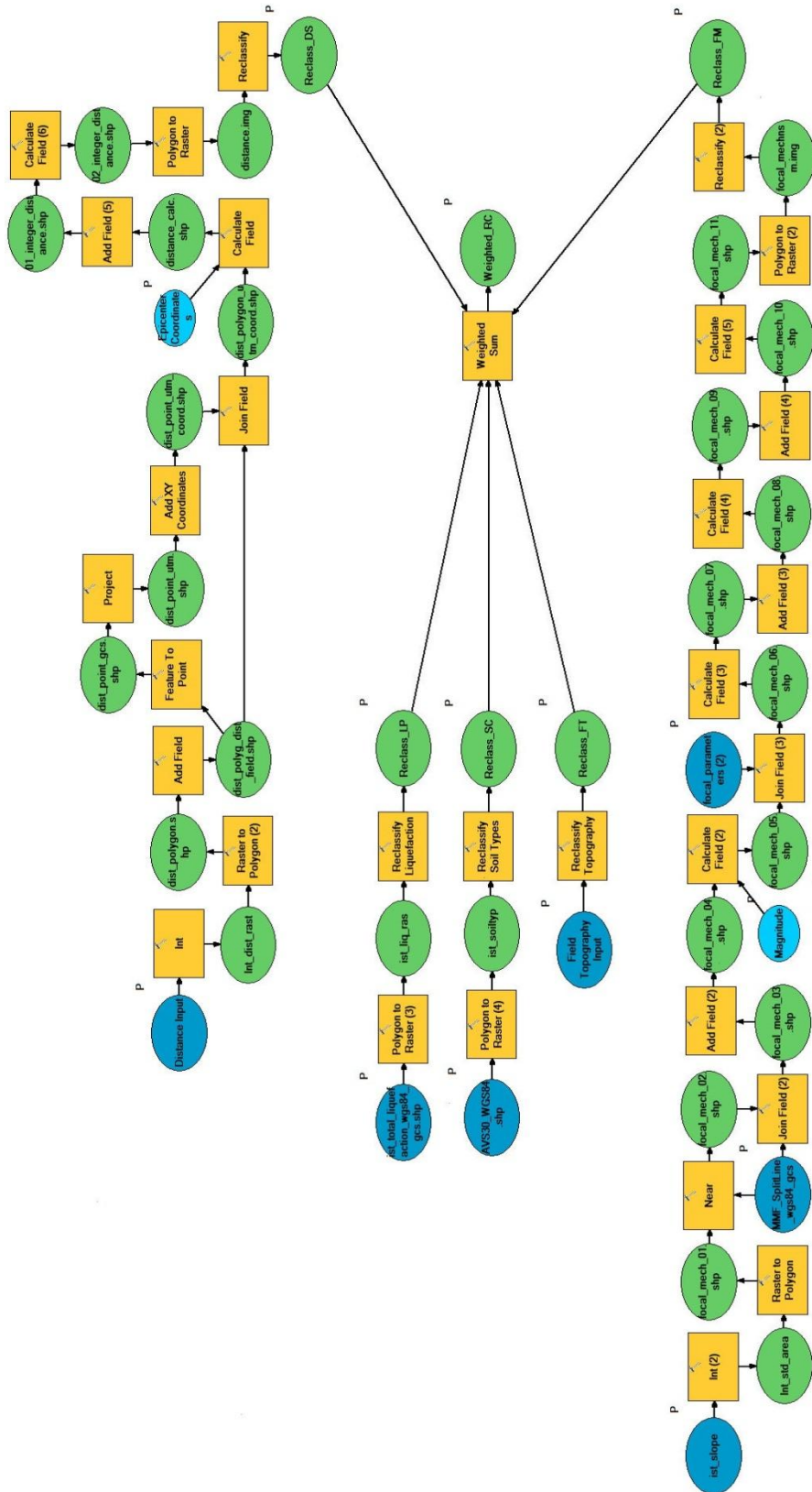


Şekil 7.1 : Metodoloji Akış Şeması

- 1) Çözülecek problemin/amacın belirlenmesi (bu çalışmaya özel olarak AHY yöntemi ile oluşturulmuş deprem tehlike haritalarının duyarlılık testi).
- 2) Kaynak taraması yapılarak ve AHY ile üretilmiş sonuç ürün olan deprem tehlike haritasının parametrelerinin belirli oranda artırım ve azalımlarla ağırlıklarının yeniden hesaplanması.
- 3) Verilerin elde edilmesi ve amaca uygun formatta düzenlenerek CBS ortamına aktarılması.
- 4) Raster veri gruplarının sınıflandırılması.
- 5) Gerekli girdi ve çıktı verilerinin oluşturulabilmesi için oluşturulmuş CBS tabanlı araç kutusunun kullanılması.
- 6) Yeni oluşturulan ağırlıklar yardımıyla yeni deprem tehlike haritalarının üretimi.
- 7) Oluşturulan sonuç raster verilerinin yorumlamaya uygun belirli aralığa çekilmesi ve semboloji ile gösterilmesi.
- 8) Ağırlık arttırımına tabi tutulmuş sonuç raster veri görseli ile girdi raster verilerinin karşılaştırılması ve yorumlanması.

Analizlerde ArcGIS yazılımının ArcMap 10.1 platformunun Spatial Analyst eklentisi ile ArcToolbox araç kutusu kullanılmıştır. Analizde kullanılan herbir ölçüt (DU, FM, SP, TP, ZS) ArcGIS yazılımında birer tabaka ile betimlenmiştir. Kullanılan herbir ölçüt raster veri formatına dönüştürülmüştür. Raster veri formatında betimlenen ölçütlerin ortak bir analize tabi tutulabilmesi amacıyla herbir ölçüt Reclassify (yeniden sınıflandırma) işlemine sokulmuştur. Reclassify işlemiyle herbir ölçüte EK A'da çizelgedeki değerler atanmıştır. Bu işlemler yapıldıktan sonra ArcToolbox araç kutusunun mekansal analiz araçları (Spatial Analyst Tools)'nın altında ağırlıklandırılmış toplam (Weighted Sum) aracı kullanılarak bindirme analizi yapılmıştır. Herbir ölçüt girdi raster verisi olarak temel alınmış ve Analitik Hiyerarşi Yöntemi baz alınarak üretilen ölçüt ağırlıkları ağırlıklandırılmış toplama işlemine tabi tutulmuştur.

ArcGIS platformunda oluşturulan model tasarımdan sonra (Şekil 7.2) duyarlılık analizinin uygulanacağı parametreler belirli aralıklara göre yeniden belirlenmiştir.



Şekil 7.2 : Deprem parametrelerinin ağırlıklarının oluşturulmasında kullanılan AHP ve CBS model algoritması (Karaman ve Erden 2014)

İlgili ölçütlere uygulanacak duyarlılık analizi için aşağıdaki eşitlik kullanılmıştır (Triantaphyllou ve Sanchez, 1997; Triantaphyllou, 2000):

$$\omega_j = (1 - \omega_i) * \left(\frac{\omega_j^0}{(1 - \omega_i^0)} \right) \quad (7.1)$$

ω_j ; j. ölçütün duyarlılık analizinde kullanılacak yeni ağırlık değerini göstermektedir. ω_i ise duyarlılık analizinde ağırlık artımına veya azaltımına tabi tutulan i. ölçütün yeni ağırlık değeridir. ω_i^0 ve ω_j^0 ağırlık değerleri ise sırasıyla i. ve j. ölçütlerin duyarlılık analizine tabi tutulmadan önceki ağırlık değerleri olmaktadır.

Yukarıdaki formülasyona göre FM (Fay Mekanizması) ölçütü için $\omega_i = 0.2$ (%20) ağırlık değerine göre TP (Topoğrafya) ölçütünün yeni ağırlık değeri $\omega_j = 0.053$ olarak hesaplanmaktadır:

$$(1 - 0.2) * \left(\frac{0.06}{(1 - 0.1)} \right) = \omega_j = 0.053 \quad (7.2)$$

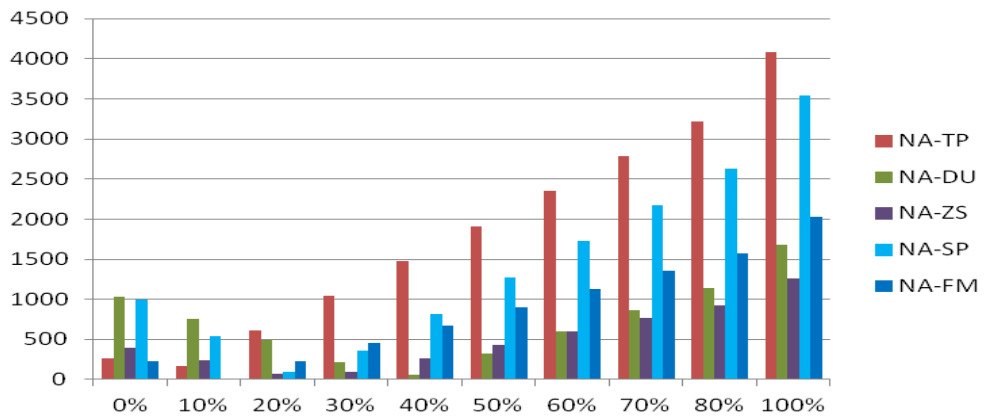
Bu çalışmada herbir ölçüt baz alınarak (DU, FM, SP, TP, ZS) ilgili tüm diğer ölçütler için %0 ile %100 arasında olmak üzere ve %10'luk ağırlık değerlerini göre duyarlılık analizi değerleri hesaplanmış ve hesaplanan tüm değerler EK A'da verilmiştir.

Duyarlılık analizi için AHY ile belirlenmiş ağırlıklar üzerinden %10'luk aralıklarla CBS ortamında 50 adet duyarlılık analizi gerçekleştirilmiştir. Analizdeki herbir ölçütün kendisi de dahil olmak üzere %0, %10, %20, %30, %40, %50, %60, %70, %80 ve %100 şeklinde belirlenen ağırlık değişimlerine göre diğer ölçüt ağırlıklarının kendi ağırlıkları oranında değiştirilmesi ve toplam ağırlık yüzdesinin % 100 olması sağlanmıştır. EK B'de CBS ortamında gerçekleştirilen tüm duyarlılık analizi sonuçları görsel olarak verilmektedir. Buna göre Şekil B.2 ile Şekil B.11 arasındaki analiz sonuçları DU ölçütü için ölçüt ağırlık değişimleri baz alınarak yapılan değerlendirmeyi göstermektedir. Şekil B.12 ile Şekil B.21 arası analizler FM ölçütünün; Şekil B.22 ile Şekil B.31 arası analizler SP ölçütünün; Şekil B.32 ile Şekil B.41 arası analizler TP ölçütünün; Şekil B.42 ile Şekil B.51 arası analizler ZS ölçütünün belirlenen ölçüt ağırlık değişimlerini göstermektedir.

Her bir deprem parametresi için ağırlık artırımı yoluyla bulunmuş sonuç rasterlar ile baz alınan raster arasındaki farkın mutlak değeri alınarak her pikselin grid değerleri toplamı hesaplanmış ve ağırlık değişimi sayısal olarak izlenmiştir. Değişimin aralıklara göre grid değer toplamı EK A'da verilmiştir.

DU ölçütünün belirlenen ölçüt ağırlıkları baz alınarak yapılan duyarlılık analizlerinde şu hususlar öne çıkmaktadır: DU ölçütünün model içindeki ağırlığı %38 olarak belirlenmiş ve ölçütün kendi ağırlık değeri de dahil olmak üzere %0 ile %100 arasında %10'luk ağırlık değerlerine göre DU ölçütü için toplam 10 adet duyarlılık analizi yapılmıştır. Yapılan duyarlılık analizlerinden modelin DU ölçütü için %20'lik ağırlık değişimine duyarlılık gösterdiği saptanmıştır. DU ölçütünün ağırlığı %38 olduğuna göre ağırlık değerinin yaklaşık %30'a kadar olan kısmı ile %50'ye kadar olan kısmı DU ölçütü için duyarlılık aralığı olarak belirlenmektedir. Ölçüte atanan %0, %10, %20, %60, %70, %80 ve %100 gibi yüksek ağırlık değerleri üretilen sonuç harita üzerinde değişikliğe sebep olmaktadır.

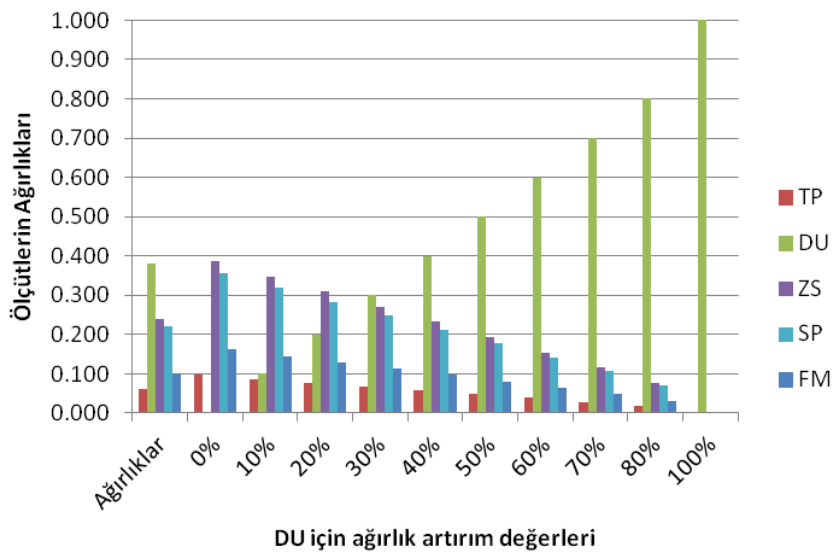
DU ölçütü için %10'luk ağırlık artırım sonucu oluşan raster ile baz alınan raster arasındaki mutlak fark hesaplanmış, 3090 adet piksel üzerinden grid değerlerinin toplamı her fark değeri için ayrı ayrı toplanmış ve sonuçlar hesaplanmıştır (Çizelge A.6). DU ölçütünün kendi ağırlığına yakın ağırlık artırım aralığında mutlak toplam farkın az olduğu diğerlerinde ise fark değerlerinin arttığı gözlenmektedir. DU ölçütünün kendi ağırlığına yakın olan %40 aralığında fark 54.12 iken %30'da 215.93 ve %50'de 327.55 birim olmaktadır. Fark diğer aralıklarda artmaktadır. Görsel yorumlama haricinde farkların toplamı alınarak da sayısal değerler ile duyarlılık analizinin sonuçları bu çalışma ile desteklenmiştir. Şekil 7.3 'te baz alınan raster ile DU ölçütün ağırlık artırımına tabi tutulmuş değerlerin mutlak farklarının toplamı grafikteki gibi olmaktadır (Şekil 7.3).



Şekil 7.3 : Parametrelere göre değer arttırımının baz alınan raster'a göre mutlak fark değerleri toplamı

Küçükçekmece İlçesi için AHY yöntemi ile belirlenen deprem tehlike haritasının DU ölçütünün ağırlığının artması sonucu Küçükçekmece İlçesinde yoğunlaşma eğilimi

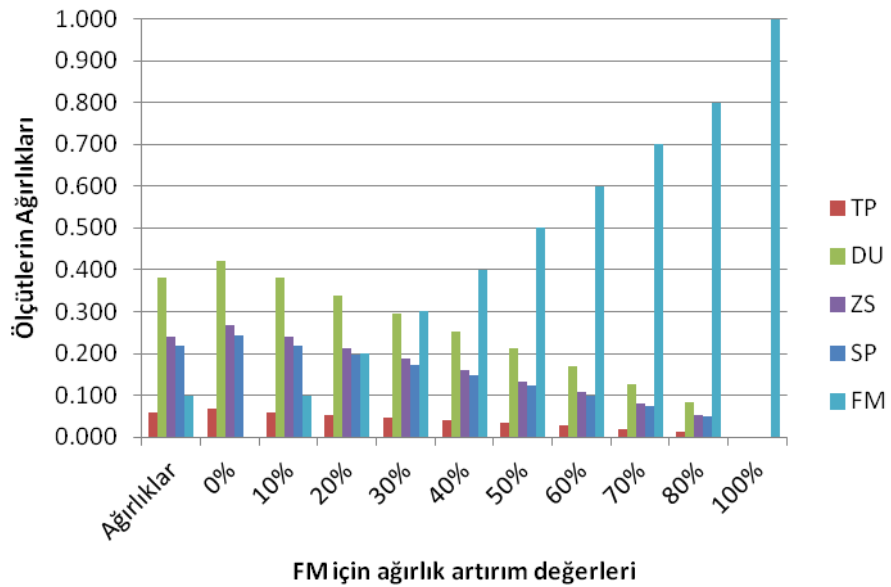
göstermektedir. Deprem merkezine olan uzaklık parametresinin artırılması sonucu oluşan bu durum modelin doğru bir şekilde çalıştığını göstermektedir. Duyarlılık analizi sonucunda DU ölçütü için belirlenen yaklaşık %20’lik duyarlılık aralığı analizin duyarlılığını betimlemektedir. Grup karar vermeye dayanan ölçüt ağırlığı belirleme işleminde bir ölçütün (örneğin burada DU ölçütü) ağırlığı zamanla değişiklik gösterebilmektedir. Örneğin bu çalışmada %38’lik ağırlık değerine sahip DU ölçütü için ağırlık değerlerinin %30 ve %50 olması halinde dahi model güvenli bir şekilde çalışmaktadır. Bu sonuç da grup kararı ile belirlenen ölçüt ağırlığının doğru ve güvenilir bir biçimde belirlendiğini ve modelin doğru ve tutarlı bir biçimde işlediğini göstermektedir. Eğer belirlenen duyarlılık aralığı küçük ağırlık değişimlerine cevap vermiş olsaydı (örneğin ölçütün ağırlık değerinden %2-3 azalan veya %2-3 artan yönde bir duyarlılık aralığı oluşsaydı) bu durumda mümkün olduğunca çok sayıda duyarlılık analizi yapmak gerekecek ve çok küçük ağırlık değişimlerine önem vermek durumunda kalınacaktı. Bu ölçüt için belirlenen kritik değerler (azalan ve artan yönde) çok küçük bir aralığa sahip olacağından karar verme probleminde olası küçük ağırlık değişimleri için model duyarlılığını kaybedebilecekti. Burada ise yaklaşık olarak %8 azalan yönde ve %12 artan yönde bir duyarlılık aralığı olduğundan gerçekleşen modelin olası küçük ağırlık değişimlerinden etkilenmediği sonucu çıkmakta ve oluşturulan model tutarlılık arz etmektedir. Şekil 7.4 ‘te DU ölçütü için ağırlık artırım değerlerine göre diğer ölçütlerin değişimi grafikteki gibidir.



Şekil 7.4 : DU ölçütünün ağırlık değerine göre diğer ölçütlerin ağırlık değerlerinin değişim grafiği

AHY yöntemi ile değerlendirmeye tabi tutulan deprem parametrelerinden Fay Mekanizması (FM) ölçütü için de DU ölçütünde değinilen konulara benzer şeyler söylenebilir. FM ölçütünün model içindeki ağırlığı %10 olarak belirlenmiş ve bu ölçüt için de %10'lık ağırlık değerleri baz alınarak 10 adet duyarlılık analizi yapılmıştır. FM ölçütü için duyarlılık aralığının yaklaşık % 20'ler mertebesinde olduğu yapılan duyarlılık analizi sonucu belirlenmiştir (yaklaşık % 10 azalan ve % 10 artan yönde).

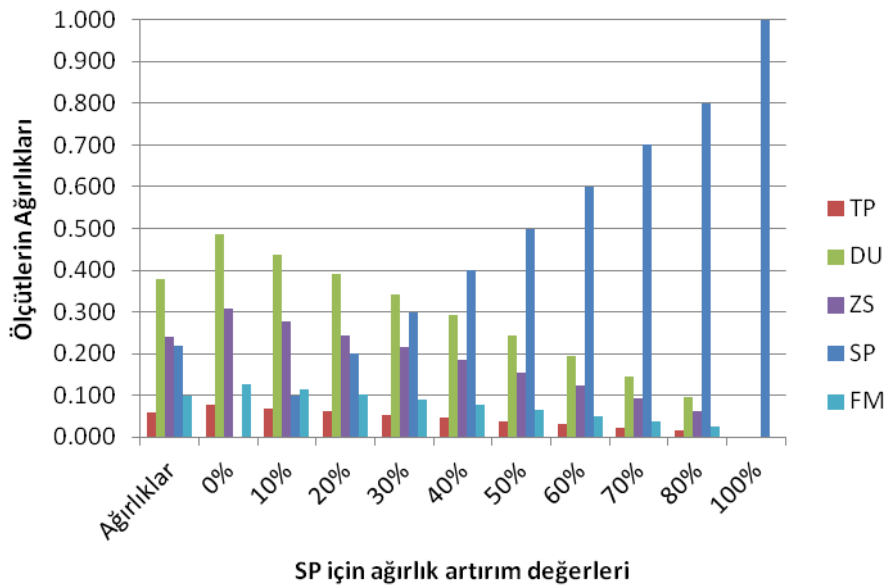
FM ölçütü için %10'luk ağırlık artırım sonucu oluşan raster ile baz alınan raster arasındaki mutlak fark hesaplanmış, 3090 adet piksel üzerinden grid değerlerinin toplamı her fark değeri için ayrı ayrı toplanmış ve sonuçlar hesaplanmıştır (Çizelge A.6). FM ölçütünün kendi ağırlığına yakın ağırlık artırım aralığında mutlak toplam farkın az olduğu diğerlerinde ise fark değerlerinin arttığı gözlenmektedir. FM ölçütü diğer ölçütlerden farklı olarak %10 ağırlık artımı aralığında baz alınan ağırlığına eşit olup fark bu aralıktaki 0 iken %0'da ve %20'de farklar eşit 224.86 birim olarak bulunmaktadır. Farkın diğer aralıklarda arttığı gözlenmektedir. Görsel yorumlama haricinde farkların toplamı alınarak da sayısal değerler ile duyarlılık analizinin sonuçları bu çalışma ile desteklenmiştir. Şekil 7.5 'te baz alınan raster ile FM ölçütün ağırlık artırımına tabi tutulmuş değerlerin mutlak farklarının toplamı grafikteki gibidir.



Şekil 7.5 : FM ölçütünün ağırlık değerine göre diğer ölçütlerin ağırlık değerlerinin değişim grafiği

Özellikle FM ölçütünün %30'u aşan ağırlık değerleri sonuç ürünü anlamsız hale getirmektedir. Burada Fay Mekanizması parametresi baz alındığından ve Küçükçekmece İlçesi Fay Mekanizması değerlendirmeye tabi tutulduğundan % 30'u aşan ağırlık değerlerinde ilgilenilen bölgenin hemen hemen tümünü kaplayan seçenekler (sonuç ürün olan haritada analiz sonucu belirlenen piksel veya piksel grupları) oluşmakta ve analiz sonucu anlamsızlaşmaktadır. Bu sonuç da özellikle FM parametresi için ağırlık değerlerinin doğru, güvenilir ve tutarlı bir biçimde belirlendiğini göstermektedir. Şekil 7.5 'te FM ölçütü için ağırlık artırım değerlerine göre diğer ölçütlerin değişimi grafikteki gibidir.

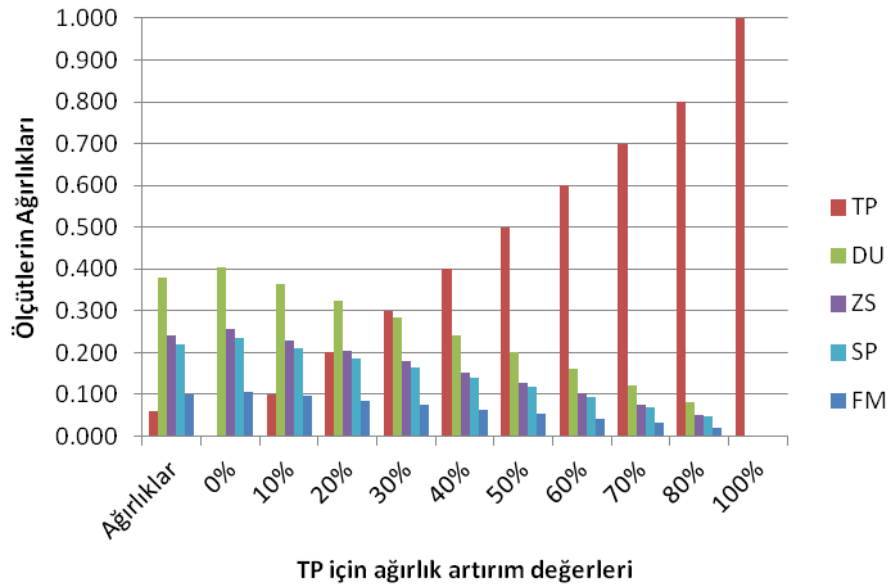
Değerlendirmeye tabi tutulan bir diğer ölçüt %22'lik ağırlık değeriyle model içinde yer alan Sıvılaşma Potansiyeli (SP) ölçütüdür. SP ölçütü için de toplam 10 adet duyarlılık analizi yapılmıştır. Bu ölçütün değerlendirilmesi sonucunda duyarlılık aralığı %10 ve %30 arasında bulunmuştur. Burada %12 azalan yönde ve %8 artan yönde bir duyarlılık aralığı olduğundan gerçekleşen modelin olası küçük ağırlık değişimlerinden etkilenmediği sonucu çıkmakta ve oluşturulan model, ölçütün özellikle %40 ağırlık değerinden daha fazla olan değerlerine aşırı cevap vermekte ve sonuç ürün anlamsız hale gelmektedir. Elde edilen bu sonuç da SP parametresinin model içinde doğru, güvenilir ve tutarlı bir ölçüt olarak yer aldığına göstergesi olmaktadır. Şekil 7.6 'da SP ölçütü için ağırlık artırım değerlerine göre diğer ölçütlerin değişimi grafikteki gibidir.



Şekil 7.6 : SP ölçütünün ağırlık değerine göre diğer ölçütlerin ağırlık değerlerinin değişim grafiği

SP ölçütü için %10'luk ağırlık artırımına tabi tutulan raster ile baz alınan raster arasındaki mutlak farklar hesaplanmış, 3090 adet piksel üzerinden grid değerlerinin toplamı her fark değeri aralığı için ayrı ayrı hesaplanmış ve sonuçlar toplanmıştır (Çizelge A.6). SP ölçütünün kendi ağırlığına yakın olan ağırlık artırım aralığında mutlak toplam farkın az olduğu diğer aralıklarda ise fark değerinin arttığı gözlenmektedir. SP ölçütünün kendi ağırlığı olan %22 değerine yakın olan %20 aralığında fark en az olup 89.41 olarak belirlenmiş %10 aralığında ise 541.34 ve %30'da ise 363.49 birim olarak belirlenmiştir. Fark diğer ağırlık artırım aralıklarında daha da artmaktadır. Görsel yorumlama haricinde farkların toplamı alınarak sayısal değerler ile duyarlılık analizinin sonuçları bu çalışma ile desteklenmiştir. Şekil 7.3 'te baz alınan raster ile SP ölçütün ağırlık artırımına tabi tutulmuş değerlerin mutlak farklarının toplamı grafikteki gibi olmaktadır.

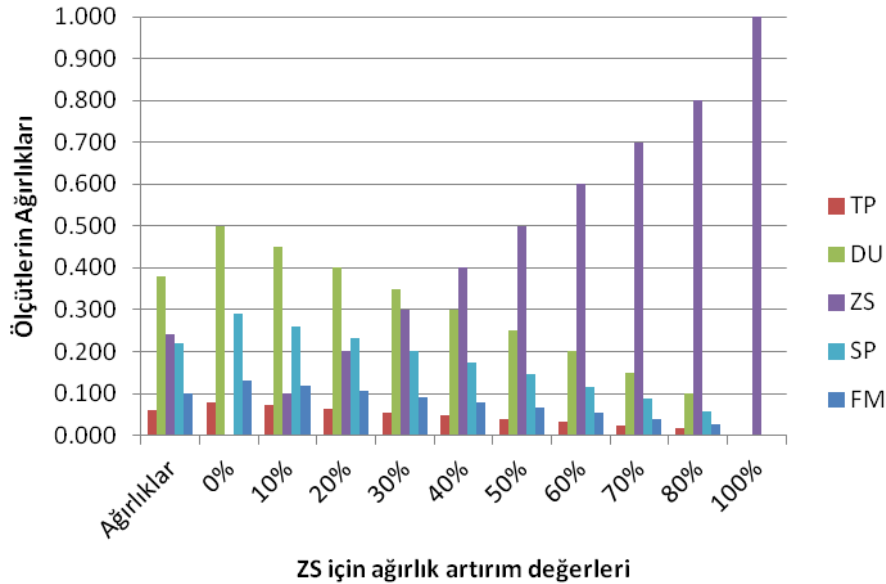
Topoğrafya (TP) parametresi bu duyarlılık analizinde değerlendirmeye tabi tutulan % 6'lık bir ağırlık değeriyle yer alan diğer bir ölçüttür. TP ölçütü için de toplam 10 adet duyarlılık analizi yapılmış ve ölçütün duyarlılığının %10 mertebesinde olduğu duyarlılık analizi sonucunda belirlenmiştir. Bu ölçütün duyarlılık aralığı %6 azalan ve %14 artan yönde bir duyarlılık aralığı oluşturmuş ve sonuç ürünler karşılaştırıldığında TP parametresi güvenilir ve tutarlı bir ölçüt olduğu duyarlılık analizi sonucu belirlenmiştir. Şekil 7.7 'de TP ölçütü için ağırlık artırım değerlerine göre diğer ölçütlerin değişimi grafikteki gibidir.



Şekil 7.7 : TP ölçütünün ağırlık değerine göre diğer ölçütlerin ağırlık değerlerinin değişim grafiği

TP ölçütü için %10'luk ağırlık artırım sonucu oluşan raster ile baz alınan raster arasındaki mutlak fark hesaplanmış, 3090 adet piksel üzerinden grid değerlerinin toplamı her fark değeri için ayrı ayrı toplanmış ve sonuçlar hesaplanmıştır (Çizelge A.6). TP ölçütünün kendi ağırlığı olan %6 değerine yakın ağırlık artırım aralığında mutlak toplam farkın az olduğu diğerlerinde ise fark değerinin arttığı gözlenmektedir. TP ölçütünün kendi ağırlığına yakın olan %10 aralığında fark 171.20 iken %0'da 261.21 ve %20'de 607.25 birim olmaktadır. Fark diğer aralıklarda artmaktadır. Bu çalışma ile TP ölçütünün duyarlılığının görsel olarak yorumlanması haricinde sayısal olarak da yorum yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Şekil 7.3 'te baz alınan raster ile TP ölçütün ağırlık artırımına tabi tutulmuş değerlerin mutlak farklarının toplamı grafikteki gibi olmaktadır (Şekil 7.3).

Diğer bir ölçüt olan Zemin Sınıfı (ZS) AHY yöntemi ile ağırlığı %24 olarak belirlenmiş ve duyarlılık analizine tabi tutulmuş ve duyarlılığı %30 mertebesinde belirtilmiştir. Bu ölçütün de duyarlılık aralığı %14 azalan ve %16 artan yönde bir duyarlılık aralığı oluşturmuş ve sonuçlar karşılaştırıldığında ZS parametresi güvenilir ve tutarlı bir ölçüt olduğu duyarlılık analizi sonucu belirlenmiştir. Şekil 7.8 'de ZS ölçütü için ağırlık artırım değerlerine göre diğer ölçütlerin değişimi grafikteki gibidir.



Şekil 7.8 : ZS ölçütünün ağırlık değerine göre diğer ölçütlerin ağırlık değerlerinin değişim grafiği

ZS ölçütü için de ağırlık artırım sonucu oluşan raster ile baz alınan raster arasındaki mutlak fark hesaplanmış, 3090 adet piksel üzerinden grid değerlerinin toplamı her fark değeri için ayrı ayrı toplanmış ve sonuçlar hesaplanmıştır (Çizelge A.6). ZS

ölçütünün kendi ağırlığına yakın ağırlık artırım aralığında mutlak toplam farkın az olduğu diğerlerinde ise fark değerinin arttığı gözlenmektedir. ZS ölçütünün kendi ağırlığına yakın olan %20 aralığında fark 67.44 iken %10'da 233.95, %30 aralığında 99.07 ve %40'da 265.57 birim olmaktadır. Fark diğer aralıklarda artmaktadır. Görsel yorumlama haricinde farkların toplamı alınarak da sayısal değerler ile duyarlılık analizinin sonuçları bu çalışma ile desteklenmiştir. Şekil 7.3 'te baz alınan raster ile ZS ölçütün ağırlık artırımına tabi tutulmuş değerlerin mutlak farklarının toplamı grafikteki gibi olmaktadır.

8. SONUÇLAR

Bu çalışmada AHY ile CBS ortamında üretilen deprem tehlike haritaları için girdi verileri olarak belirlenen ağırlıkların duyarlılıkları test edilerek sayısal ve görsel olarak yorumlanmıştır. Deprem tehlike haritalarının oluşturulması ve duyarlılıklarını test edebilmek amacıyla AHY-CBS tabanlı bir model oluşturulmuş, girdi verisi olarak beş kriter belirlenmiştir (DU, FM, SP, TP, ZS). Kriter ağırlık değerlerinin artımları %10 olacak şekilde belirlenmiş ve bu artım değerlerinin sonuç üründe oluşturdukları değişimler yorumlanmıştır. EK B 'deki haritalar anılan kriter ağırlıklarının değişimiyle oluşturulmuştur (Şekil B.1-Şekil B.51).

Bu çalışma ile AHY ile oluşturulmuş kriter ağırlıklarının duyarlılıklarının mekansal olarak test edilmesine olanak sağlanmaktadır. Bu da ÇÖKV yönteminin geleneksel olarak kullanılan AHY içine DA (Duyarlılık Analizi)'nin de eklenmesi sayesinde gerçekleştirilmiştir. Bu metodolojinin kullanımında ve görselleştirilmesinde girdi verisi olarak Küçükçekmece ilçesi deprem parametreleri (DU, FM, SP, TP, ZS) kullanılmaktadır. Bu deprem parametrelerindeki değişikliklerin sonuçları mekansal olarak yorumlanmaktadır.

Duyarlılık analizi sonucunda DU ölçütünün %20'lik bir aralık değişimine duyarlı olduğu çalışma sonucunda belirlenmiştir. Bu çalışmada %38'lik ağırlık değerine sahip olan DU ölçütü ağırlık değerlerinin %30, %40 ve %50 olması halinde dahi model parametrelerinde ve görsel üründe büyük değişimlere rastlanmamıştır. Bu sonuç da belirlenen ölçüt ağırlığının doğru ve güvenilir bir biçimde belirlendiğini ve modelin doğru ve tutarlı bir biçimde işlediğini göstermektedir. %40'lık aralıkta DU ölçütü kendi parametre ağırlığına yakın olduğu için modelde değişikliğe rastlanmamış ve normal ağırlığı gibi davranmıştır. %30'luk ve %50'lik ağırlık değişimde ise modelde sadece belirli yerlerde piksel grupları değişmiş, geneline göre normal ağırlıklı modelden fazla bir sapma gözlenmemiştir. %30'un altında ve %50'nin üstündeki değişim aralıklarında model büyük değişim göstermiştir. Değişimin DU parametresi için %8 azalan yönde ve %12 artan yönde bir duyarlılık

aralığında dahi normal ağırlıklı modeldeki gibi davranması ve küçük değişikliklerde büyük değişimler göstermemesi parametrenin güvenilirliğini göstermektedir.

FM ölçütünün model içindeki ağırlığı %10 olarak belirlenmiş ve bu ölçüt için de %10'luk ağırlık değerleri baz alınarak duyarlılık analizi yapılmıştır. FM ölçütünün kendi ağırlığı da model içinde %10 olduğu gözönünde bulundurularak %10'luk duyarlılık analizinde diğerlerinden farklı olarak FM ölçütü normal ağırlıklı modelle birebir eşleşmiştir. FM ölçütün artan ve azalan %10'luk değişimlerde sonuç anlamsızlaşmamakta, model referans modelle yaklaşık olarak aynı düzeyde tepki göstermektedir. Bu da FM parametresi için ağırlık değerlerinin doğru, güvenilir ve tutarlı bir biçimde belirlendiğini göstermektedir.

Duyarlılık analizi değerlendirmesine tabi tutulan bir diğer ölçüt %22'lik ağırlık değeriyle model içinde yer alan SP ölçütüdür. Model %10'luk ve %30'luk değişim aralığında baz alınan ağırlığına göre birkaç piksel grubunda değişiklik göstermektedir. Duyarlılık aralığı ise %12 azalan ve %8 artan yönde oluşmakta ve modelin olası küçük ağırlık değişimlerinden etkilenmediği sonucu çıkmaktadır. %0'da, %40 ve üstünde ise model baz alınan modele göre büyük değişiklik göstermektedir. Elde edilen bu sonuç da SP parametresinin model içinde doğru, güvenilir ve tutarlı bir ölçüt olarak yer aldığına göstergesi olmaktadır.

TP parametresi duyarlılık analizinde % 6'lık bir ağırlık değeriyle yer alan diğer bir ölçüttür. Ölçütün duyarlılığının %10 mertebesinde olduğu duyarlılık analizi sonucunda belirlenmiştir. Bu ölçütün duyarlılık aralığı %6 azalan ve %14 artan yönde bir duyarlılık aralığı oluşturmuştur. %20'lik ağırlık değişiminin üzerindeki her aralıkta ise oluşan model baz alınan modelden farklılık göstermektedir. Sonuç olarak TP parametresi güvenilir ve tutarlı bir ölçüt olduğu duyarlılık analizi sonucu belirlenmiştir.

Son olarak ZS ölçütü için de duyarlılık analizi yapılmıştır. ZS ölçütünün baz ağırlığı AHY ile %24 olarak belirlenmiştir. Duyarlılık analizinde duyarlılığı %30 mertebesinde belirtilmiştir. Duyarlılık aralığı ise %14 azalan ve %16 artan yönde oluşmuştur. Bu aralıkta modelde sadece belirli piksel gruplarında değişiklikler oluşmuştur. %0'da, %50 ve üzerindeki ağırlık değişim aralıklarında ise modelde büyük değişim görülmüştür. Sonuçlar karşılaştırıldığında ZS parametresi güvenilir ve tutarlı bir ölçüt olduğu duyarlılık analizi sonucu belirlenmiştir.

Bütün ölçütler için ağırlık artırımına tabi tutulmuş raster sonuç verileri ile baz alınan raster verisi arasındaki mutlak fark hesaplanmış, bu sonuç ürünün grid değerleri toplanmış ve ağırlık artırım aralıklarına göre sayısal olarak yorumlanmıştır. Buna göre; DU ölçütü için 3090 adet piksel üzerinden grid değerlerinin toplamı her fark değeri için ayrı ayrı toplanmış ve ölçütünün kendi ağırlığına yakın ağırlık artırım aralığında mutlak toplam farkın az olduğu diğerlerinde ise fark değerinin arttığı gözlenmiştir DU ölçütünün kendi ağırlığına yakın olan %40 aralığında fark 54.12 iken %30'da 215.93 ve %50'de 327.55 birimdir. FM ölçütü için de %10'luk ağırlık artırım sonucu oluşan raster ile baz alınan raster arasındaki mutlak fark hesaplanmış sonuç pikseller üzerinden grid değerlerinin toplamı her fark değeri için ayrı ayrı toplanmış ve sonuçlar hesaplanmıştır. FM ölçütü diğer ölçütlerden farklı olarak %10 ağırlık artımı aralığında baz alının kendi ağırlığına eşit olup fark bu aralıkta 0 iken %0'da ve %20'de farklar eşit ve 224.86 birim olarak bulunmuştur. SP ölçütü için de ağırlık artırımına tabi tutulan raster ile baz alınan raster arasındaki mutlak farklar hesaplanmıştır. 3090 adet piksel üzerinden grid değerlerinin toplamı her fark değeri için ayrı ayrı hesaplanmıştır. SP ölçütünün kendi ağırlığı olan %22 değerine yakın olan %20 aralığında farkın 89.41 birim, %10 aralığında ise 541.34 birim ve %30'da ise 363.49 birim olarak belirlendiği gözlenmiştir. TP ölçütü için %10'luk ağırlık artırım sonucu oluşan raster ile baz alınan raster arasındaki mutlak fark hesaplanmıştır. 3090 adet piksel üzerinden grid değerlerinin toplamı her fark değeri için ayrı ayrı toplanmıştır. TP ölçütün baz ağırlığı olan %6 değerine yakın ağırlık artırım aralığında mutlak toplam farkın az olduğu diğerlerinde ise fark değerinin arttığı gözlenmiştir. TP ölçütünün baz alınan ağırlığına yakın olan %10 aralığında fark 171.20 iken %0'da 261.21 ve %20'de 607.25 birim olmaktadır. ZS ölçütü için de ağırlık artırım sonucu oluşan raster ile baz alınan raster arasındaki mutlak fark hesaplanmıştır. 3090 adet piksel üzerinden grid değerlerinin toplamı her fark değeri için ayrı ayrı toplanmış ve sonuçlar hesaplanmıştır. ZS ölçütünün baz alınan kendi ağırlığına yakın olan %20 aralığında fark 67.44 iken %10'da 233.95, %30 aralığında 99.07 ve %40'da 265.57 birim olmaktadır. Fark diğer aralıklarda artmaktadır. Görsel yorumlama haricinde farkların toplamı alınarak da sayısal değerler ile duyarlılık analizinin sonuçları bu çalışma ile desteklenmektedir.

AHY'nin CBS yardımıyla mekansal bir boyut kazandığı bu çalışmada DA ile birleşmesiyle ÇÖKV yöntemlerinde seçilen deprem parametrelerinin kontrol

edilmesine yardımcı olmakta ve parametrelerin güvenilirliğini karar vericilere mantıksal ve görsel olarak sunmaktadır. Karar vericiler duyarlılık analizi sonucunda seçilen ilgili parametrenin model içindeki değişimini anında görselleştirebilmekte ve etkisi olmayan parametreler elimine edilebilmektedir. Deprem tehlike haritalarının oluşturulmasında depreme etki eden parametrelerin AHY yöntemiyle belirlenmesinden sonra, duyarlılık analizi kontrolü seçilen parametreler üzerinde hakimiyet ve kontrolü arttırmaktadır. Deprem tehlike haritaları gibi deprem senaryolarının oluşturulmasında ve önlemlerin alınmasında etkili olan uygulamalarda kullanılan bu parametrelerin duyarlılık analizi kontrolü eksik kalmaktadır. Bu çalışma ile deprem tehlike haritalarının ve senaryolarının oluşturulmasında kullanılan ve depreme etki parametrelerin ağırlıklarının AHY belirlenmesinin ardından duyarlılık analizine tabi tutulmasının önemi üzerinde durulmaktadır.

Çalışma kapsamında incelenen CBS tabanlı ÇÖKV uygulamalarının bir çoğunda özellikle duyarlılık analizleri konusunda bir boşluk olduğu görülmektedir. Bugüne kadar yapılan uygulamaların pek azında duyarlılık analizi bileşenine rastlanmıştır. Literatür, uluslararası makaleler açısından tarandığında görülmektedir ki yapılan birçok çalışmanın duyarlılık analizi kısımları eksik kalmaktadır. Yapılandırılan bu çalışmayla bu boşluğun da doldurulması amaçlanmaktadır. Duyarlılık analizlerinin CBS ortamında CBS'nin görselleştirme ve analiz olanaklarından yararlanılarak başarılması, duyarlılık analizlerine görsel bir bileşenin de eklenmesini olanaklı kılmaktadır. Bu sayede modelin duyarlılığının görsel olarak yorumlanması başarılmaktadır. Bu çalışma ile CBS tabanlı ÇÖKV problemlerine duyarlılık analizi açısından katkı yapılması amaçlanmıştır.

KAYNAKLAR

- Aangeenburg, R.T.** (1991) A critique of CBS. In maguire, D.J., Goodchild, M.F. and Rhind, D.W. (Eds.). *Geographical Information Systems, Principles and Applications*,. John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Al-Mashreki, M. H., Akhir, J. B. M., Rahim, S. A., Lihan, K. M. D. T., & Haider, A. R.** (2011). GIS-based sensitivity analysis of multi-criteria weights for land suitability evaluation of sorghum crop in the Ibb Governorate Republic of Yemen. *Journal of basic and applied scientific research*, 1(9), 1102-1111.
- Ambraseys, N. N.,** (1995). *The prediction of earthquake peak ground acceleration in europe*, *Earthq. Eng. Struct. D*, **24**, 467–490.
- Angehrn, A.A.,** (1992). Supporting Multicriteria Decision Making: New Perspectives and New Systems, In: Holtham (Ed.), *Executive Information Systems and Decision Support*, London: Chapman & Hall, pp. 124-141.
- Ansal, A., Akinci, A., Cultrera, G., Erdik, M., Pessina, V., Tonuk, G., and Ameri, G.,** (2009) *Loss estimation in İstanbul based on deterministic earthquake scenarios of the Marmara sea region (turkey)*, *Soil Dyn. Earthq. Eng.*, **29**, 699–709, doi:10.1016/j.soildyn.2008.07.006.
- Ascough II, J.C., Rector, H.D., Hoagh, D.L., McMaster, D.L., Vandenberg, B.C., Shaffer, M.J., Weltz, M.A., Ahja, L.R.** (2002) : Multicriteria Spatial Decision Support Systems: Overview, Applications, and Future Research Directions. In: Rizzoli, A.E., Jakeman, A.J. (eds.) *Integrated Assessment and Decision Support, Proceedings of the First Biennial Meeting of the iEMSs*, vol. 3, pp. 175–180
- Badri, M.,** (1999). Combining the AHP and GP for Global Facility Location-allocation Problem, *International Journal of Production Economics*, 62 (3), pp. 237-248.
- Banai-Kashani, R.,** (1989). A New Method for Site Suitability Analysis: The Analytic Hierarchy Process, *Environmental Management*, Vol. **13** (6), pp. 685-693.
- Boore DM** (1972) *A note on the effect of simple topography on seismic SH waves*. *Bull Seismol Soc Am* 62(1):275–284
- Boore DM** (2004) *Can site response be predicted*. *Journal of Earthquake Engineering* 8(Special Issue 1):1–41
- Boore DM, Atkinson GM** (2008). *Ground-motion prediction equations for the average horizontal component of PGA, PGV, and 5 %-damped PSA at spectral periods between 0.01 s and 10.0 s*. *Earthq Spectra* 24(1):99. doi:10.1193/1.2830434

- Boore, D. M.,** (1997). *Equations for estimating horizontal response spectra and peak acceleration from western north american earthquakes: A summary of recent work* (vol 68, pg 128, 1997), *Seismol. Res. Lett.*, 68, 128–153.
- Bouchon M** (1973) *Effect of topography on the surface motion*. *Bull Seismol Soc Am* 615(3):615–632
- Bouchon M, Schultz CA, Toksöz MN** (1996) *Effect of three-dimensional topography on seismic motion*. *J Geophys Res* 101(B3):5835–5846
- Carver, S.J.,** (1991). *Integrating Multi-criteria Evaluation with Geographic Information Systems*, *International Journal of Geographical Information Systems*, Vol. 5, pp. 321-339.
- CEN,** Eurocode 8, (2004): *Design of structures for earthquake resistance – part 5: Foundations, retaining structures and geotechnical aspects*, Comit'ée Européen de Normalisation, 2, 48 pp.
- Chen, C-F.,** (2006). Applying the Analytical Hierarchy Process (AHP) Approach to Convention Site Selection, *Journal of Travel Research*, Vol. 45, pp. 167-174.
- Chen, Y., Khan, S. & Paydar, Z.** (2007). Irrigation intensification or extensification assessment using spatial modelling in GIS, at Modelling and Simulation Society of Australia and New Zealand. *In MODSIM 2007 International Congress on Modelling and Simulation*: 1321-1327
- Chen, Y., Khan, S. & Paydar, Z.** (2009). To retire or expand? A fuzzy GIS-based spatial multi-criteria evaluation framework for irrigated agriculture. *Irrigation and Drainage* 59 (2): 174-188.
- Chen, Y., Yu, J., Shahbaz, K. & Xevi, E.** (2009). A GIS-based sensitivity analysis of multi-criteria weights, at Cairns, Australia *18th World IMACS / MODSIM Congress*
- Chen, Y., Yu, J. & Khan, S.** (2010). Spatial sensitivity analysis of multi-criteria weights in GIS-based land suitability evaluation. *Environmental Modelling & Software* 25 (12): 1582-1591.
- Cheng, E.W.L., and Li, H.,** (2001). Information Priority-setting for Better Resource Allocation Using Analytic Hierarchy Process, *Information Management and Computer Security*, Vol. 9, No. 2, pp. 61–70.
- Church, R.L., Loban, S.R., Lombard, K.,** (1992). An Interface for Exploring Spatial Alternatives for a Corridor Location Problem, *Computers and Geoscience* 8 (10), pp. 1095-1105.
- Cova, T.J.,** (1999). *GIS in Emergency Management*, In: *Geographical Information Systems: Principles, Techniques, Applications, and Management*, P.A. Longley, M.F. Goodchild, D.J. Maguire, D.W. Rhind (eds.), John Wiley & Sons, New York, pp. 845-858.
- Cowen, D.,** (1988). GIS versus CAD versus DBMS: What are the Differences?, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 54, pp. 1551-1555.

- Crosetto, M., Tarantola, S. & Saltelli, A.** (2000). Sensitivity and uncertainty analysis in spatial modelling based on GIS. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 81 (1): 71-79.
- Çelebi M** (1991) *Topographical and geological amplification: case studies and engineering implications*. Struct Saf 10:199–217
- Dangermond, J.** (1991). A Classification of Software Components Commonly Used In Geographic Information Systems. In Peuquet, D.J. and marble D.F. (Eds.). *Introductory Readings in Geographic Information Systems*. Taylor & Francis.
- Dantzig, G.B.,** (1963). *Linear Programming and Extensions*, Princeton University Press, Princeton, NJ. USA.
- Davies, M.,** (2001). Adaptive AHP: A Review of Marketing Applications with Extensions, *European Journal of Marketing*, Vol. 35, Nos. 7/8, pp. 872–893.
- Dee-Koeri** (2003) Earthquake risk assessment for the Istanbul metropolitan area (trans: Engineering E). *Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute*, Istanbul
- Delgado, M. G. & Sendra, J. B.** (2004). Sensitivity analysis in multicriteria spatial decision-making: a review. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal* 10 (6): 1173-1187.
- Densham, P.J., and Rushton, G.,** (1988). Decision Support Systems for Locational Planning, In: *Behavioral Modeling in Geography and Planning*, edited by R.G. Colledge, and H.J.P. Timmermans (New York: Croom Helm), pp. 56-90.
- Densham, P.J., and Goodchild, M.F.,** (1989). *Spatial Decision Support Systems: A Research Agenda*, In Proceedings, GIS/LIS'89, Orlando, FL, Vol. 2 (Bethesda, MD: American Congress on Surveying and Mapping), pp. 707-716.
- Department of the Environment** (1987) *Handling Geographic Information*. Report of the Committee of Enquiry chaired by Lord Charley. London HMSO
- Douglas J, Akkar S, Ameri G, Bard P-Y, Bindi D, Bommer J, Bora S, Cotton F, Derras B, Hermkes M, Kuehn N, Luzi L, Massa M, Pacor F, Riggelsen C, Sandikkaya MA, Scherbaum F, Stafford P, Traversa P** (2013) *Comparisons among the five ground-motion models developed using RESORCE for the prediction of response spectral accelerations due to earthquakes in Europe and the Middle East*. Bull Earthq Eng 1–18. doi:10.1007/s10518-013-9522-8
- Drabek T E, Hoetmer G J (eds),** (1991). Emergency management: principles and practice for local government, *International City Management Association*, Washington DC,.
- Dyer, R.F., and Forman, E.H.,** (1991). *An Analytic Approach to Marketing Decisions*, Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.

- Eastman, J.R., Kyem P.A.K., and Toledano, J.,** (1993). *A Procedure for Multi-objective Decision Making in GIS Under Conditions of Competing Objectives*, Proceedings, EGIS'93, pp. 438-447.
- Eastman, J.R., Kyem, P.A.K., Toledano, J., and Jin, W.,** (1993). *GIS and Decision Making*, Geneva: The United Nations Institute for Training and Research (UNITAR).
- Elnashai AS, Di Sarno L** (2008) *Fundamentals of earthquake engineering*. Wiley, Chichester
- Eom, S., Lee, S., Kim, J.,** (1993). The Intellectual Structure of Decision Support Systems, *Decision Support Systems* 10 (1), pp. 19-35.
- Erden T.** (2009) *Coğrafi Bilgi Sistemleri ile Analitik Hiyerarşi Yöntemi'ne Dayalı İtfaiye İstasyon Yer Seçimi: İstanbul Örneği*
- Erden, T., & Karaman, H.** (2012). Analysis of earthquake parameters to generate hazard maps by integrating AHP and GIS for Küçükçekmece region. *Natural Hazards and Earth System Science*, 12(2), 475-483.
- ESRI,** (1999). *GIS for Emergency Management*, An ESRI White Paper, USA.
- ESRI,** (2001). *GIS for Homeland Security*, An ESRI White Paper, USA.
- ESRI,**(2011). *ArcGIS Resource Center*. Esri.com. http://help.arcgis.com/en/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/Classifying_numerical_fields_for_graduated_symbology/00s50000001r000000/. Accessed May 5, 2011
- Feick, R. & Hall, B.** (2004). A method for examining the spatial dimension of multi-criteria weight sensitivity. *International Journal of Geographical Information Science* 18 (8): 815-840.
- Feizizadeh, B., Jankowski, P., & Blaschke, T.** (2013). A Spatially Explicit Approach for Sensitivity and Uncertainty Analysis of GIS-Multicriteria *Landslide Susceptibility Mapping*.
- FEMA,** (2004a). National Incident Management Systems, *March*, www.fema.gov.
- FEMA,** (2004b). National Response Plan, *August*, www.fema.gov.
- FEMA,** (2006). Principles of Emergency Management, Independence Study, *February*, www.fema.gov.
- Fraedrich, D. & Goldberg, A.** (2000). A methodological framework for the validation of predictive simulations. *European Journal of Operational Research* 124 (1): 55-62.
- Frey, H. C., Mokhtari, A. & Zheng, J.** (2004). Recommended practice regarding selection, application, and interpretation of sensitivity analysis methods applied to food safety risk process models. *US Department of Agriculture*. <http://www.ce.ncsu.edu/risk/Phase3Final.pdf>.
- Godinho L, Amado Mendes P, Tadeu A, Cadena-Isaza A, Smerzini C, Sanchez-Sesma FJ, Madec R, Komatitsch D** (2009) Numerical simulation of ground rotations along 2D topographical profiles under the incidence of elastic plane waves. *Bull Seismol Soc Am* 99(2B):1147–1161. doi:10.1785/0120080096

- Golden BL, Harker PT, Alexander JM, Wasil EA** (1989) The analytic hierarchy process: applications and studies. *Springer*, New York
- Gunes, E., and Kovel, J.P.,** (2000). Using GIS in Emergency Management Operations, *Journal of Urban Planning and Development*, Vol. **126**, No. 3, ASCE.
- Green, W.G. III.,** (2002). *Four Phases of Emergency Management*, Electronic Encyclopedia of Civil Defense and Emergency Management.
- Haddow, G.D., and Bullock, J.A.,** (2006). *Introduction to Emergency Management*, Second Edition, Elsevier Inc. USA.
- HAZTURK** (2007) Developing a loss estimation program, HAZTURK based on HAZUS (hazards us) to be used before, during and after a disaster: a case study for Istanbul. *TUBITAK*, Ankara
- Harker, P.T., and Vargas, L.,** (1987). The Theory of Ratio Scaled Estimated: Saaty's Analytical Hierarchy Process, *Management Science*, **33** (11), pp. 1385-1403.
- Helton, J. C.** (1993). Uncertainty and sensitivity analysis techniques for use in performance assessment for radioactive waste disposal. *Reliability Engineering & System Safety* 42 (2-3): 327-367.
- Jankowski, P.,** (1995). Integrating Geographic Information Systems and Multicriteria Decision Making Methods, *International Journal of Geographic Information Systems* 9 (3), pp. 251-273.
- Jankowski, P., Nyerges T.L., Smith, A., Moore, T.J., and Howard, E.,** (1997). Spatial Group Choice: A SDSS Tool for Collaborative Spatial Decision-making, *International Journal of Geographic Information Systems* 11 (6), pp. 566-602.
- JICA, IMM** (2002) The study on a disaster prevention/mitigation basic plan in Istanbul including seismic microzonation in the republic of Turkey. Final report to T.C. Istanbul Metropolitan Municipality. *Pacific Consultants International*, OYO Corporation, Istanbul
- Joerin, F., Thériault, M. & Musy, A.** (2001). Using GIS and outranking multicriteria analysis for land-use suitability assessment. *International Journal of Geographical Information Science* 15 (2): 153-174.
- Ince G** (2012) Probabilistic seismic hazard assessment of the historical peninsula of Istanbul. *Nat Hazards Earth Syst Sci* 12(11):3483–3493
- Kayen RE, Mitchell JK, Seed R, Lodge A, Nishio S, Coutinho R** (1992) Evaluation of SPT-, CPT-, and shear wave-based methods for liquefaction potential assessment using Loma Prieta data. *Technical report NCEER*, vol 1
- Karaman H, Sahin M, Elnashai AS** (2008a) *Earthquake loss assessment features of Maeviz-Istanbul (Hazturk)*. *J Earthq Eng* 12:175–186. doi:10.1080/13632460802014006
- Karaman, H., & Erden, T.** (2014). Net earthquake hazard and elements at risk (NEaR) map creation for city of Istanbul via spatial multi-criteria decision analysis. *Natural Hazards*, 1-25.

- Karnatak, H., Saran, S., Bhatia, K. & Roy, P.** (2007). Multicriteria Spatial Decision Analysis in Web GIS Environment. *GeoInformatica* 11 (4): 407-429.
- Keen, P.G.W.,** (1987). Decision Support Systems: The Next Decade, *Decision Support Systems* 3 (3), pp. 253-265.
- Keenan, P.B.,** (2003). Spatial Decision Support Systems, In: Decision Making Support Systems: Achievements and Challenges for the New Decade, Hershey, Idea Group Publishing, Chapter III, pp. 28-39.
- Keenan, P.B.,** (2004). *Using a GIS as a DSS Generator*, DSSResources.COM. 12/17/2004.
- Kim, S.C. and Min, K.J.,** (2004). Determining Multi-criteria Priorities in the Planning of Electric Power Generation: The Development of an Analytic Hierarchy Process for Using the Opinions of Experts, *International Journal of Management*, Vol. 21, No. 2, pp. 186–193.
- Kleijnen, J. P. C. & Sargent, R. G.** (2000). A methodology for fitting and validating metamodels in simulation. *European Journal of Operational Research* 120 (1): 14-29.
- Kocabas, V., & Dragicevic, S.** (2004, July). Sensitivity analysis of a GIS-based cellular automata model. In *Int. archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, ed. By Altman MO, XXth ISPRS Congress, Istanbul, Turkey (Vol. 35, No. part B).
- Komatitsch D, Vilotte J-P, Vai R, Castillo-Covarrubias JM, Sanchez-Sesma FJ** (1999) The spectral element method for elastic wave equations-application to 2-D and 3-D seismic problems. *Int J Numer Methods Eng* 45:1139–1164
- Kuruüzüm, A. ve Atsan, N.,** (2001). Analitik Hiyerarşi Yöntemi ve İşletmecilik Alanındaki Uygulamaları, *Akdeniz, İ.İ.B.F. Dergisi*, Sayı:1, 83-105.
- Le Brun B, Hatzfeld D, Bard PY, Bouchon M** (1999) Experimental study of the ground motion on a large scale topographic hill at Kitherion (Greece). *J Seismol* 3:1–15
- Liang, W.Y.,** (2003). The Analytic Hierarchy Process in Project Evaluation: An R & D Case Study in Taiwan, *Benchmarking*, Vol. 10, No. 5, pp. 445–456.
- Luna, R. and Frost, J. D.,**(1998) *Spatial liquefaction analysis system*, J. Comput. Civil. Eng., 12, 48–56.
- Maigure, D.J., Goodchild, M.F. & Rhind, D.W.** (1991). *Geographical Information Systems, Principles and Applications*. John Willey & Sons, Inc., New York.
- Mair, M., Sitzenfrei, R., Kleidorfer, M., Möderl, M., & Rauch, W.** (2012). GIS-based applications of sensitivity analysis for sewer models. *Water Science & Technology*, 65(7).
- Malczewski, J.,** 1999a. *GIS and Multicriteria Decision Analysis*, John Wiley and Sons Inc. U.S.A. ISBN: 0471329444.
- Malczewski, J.,** 1999b. *Spatial Multicriteria Decision Analysis*, In: J-C. Thill (Ed.), *Multicriteria Decision-making and Analysis: A Geographic*

- Information Sciences Approach*, Brookfield, VT: Ashgate Publishing, pp. 7-48.
- Masser, I., and Blackmore, M.,** (1991) *Handling Geographic Information* (London: Longman).
- Merritt, W. S., Croke, B. F. W. & Jakeman, A. J.** (2005). Sensitivity testing of a model for exploring water resources utilisation and management options. *Environmental Modelling & Software* 20 (8): 1013-1030.
- Merz, J. F., Small, M. J. & Fischbeck, P. S.** (1992). Measuring Decision Sensitivity: A combined Monte Carlo-logistic regression approach. *Medical Decision Making* 12 (3): 189-196.
- Miller, G.A.,** (1956). The Magical Number Seven, Plus or Minus Two: Some Limits on Our Capacity for Processing Information, *Psychological Review*, Vol 63, pp. 81-97.
- Millet, I., and Wedley, W.C.,** (2002). Modelling Risk and Uncertainty with the Analytic Hierarchy Process, *Journal of Multicriteria Decision Analysis*, Vol. 11, No. 2, pp. 97–107.
- Min, H.,** (1994). Location Analysis of International Consolidation Terminals Using the Analytic Hierarchy Process, *Journal of Business Logistics*, Vol. 15, No. 2, pp. 25–44.
- Mohd Hasmadi, I., & Taylor, J. C.** (2008). Sensitivity Analysis of an Optimal Access Road Location in HillyForest Area: A GIS Approach. *American Journal of Applied Sciences*, 5(12).hang
- National Earthquake Hazards Reduction Program (US),** United States. Federal Emergency Management Agency., and Geological Survey (US): 2003 nehrp recommended provisions for seismic regulations for new buildings and other structures and accompanying commentary and maps, 2003 Edn., *US Dept. Of Homeland Security, Federal Emergency Management Agency, USGS, Washington, DC*, 2004.
- NEHRP** (1997) *guidelines for the seismic rehabilitation of buildings*. Federal Emergency Management Agency.
- Newham, L. T. H., Norton, J. P., Prosser, I. P., Croke, B. F. W. & Jakeman, A. J.** (2003). Sensitivity analysis for assessing the behaviour of a landscape-based sediment source and transport model. *Environmental Modelling & Software* 18 (8-9): 741-751.
- NRC (National Research Council),** (2003). IT Roadmap to a Geospatial Future, Washington DC., *The National Academies Press*.
- Ohta, K., et al,** (2007). Analysis of the Geographical Accessibility of Neurosurgical Emergency Hospitals in Sapporo City Using GIS and AHP, *International Journal of Geographical Information Science*, Vol. 21 (6), pp. 687-698.
- OYO IC** (2007) *Microzonation Maps and Reports (South Section of European Side). Final Report to Istanbul Metropolitan Municipality*, vol 1. T.C. Istanbul Metropolitan Municipality, Istanbul

- Paolucci R** (2002) *Amplification of earthquake ground motion by steep topographic irregularities*. *Earthq Eng Struct* 31:1831–1853. doi:10.1002/eqe.192
- Pedersen H, Le Brun B, Hatzfeld D, Campillo M, Bard PY** (1994) *Ground-motion amplitude across ridges*. *Bull Seismol Soc Am* 84(6):1786–1800
- Pulido, N., Ojeda, A., Atakan, K., and Kubo, T.**, Strong ground motion estimation in the sea of marmara region (turkey) based on a scenario earthquake, *Tectonophysics*, 391, 357–374, doi:10.1016/j.tecto.2004.07.023, 2004.
- Ramanathan, R.**, (2001). A Note On the Use of the Analytic Hierarchy Process for Environmental Impact Assessment, *Journal of Environmental Management*, Vol. **63**, pp. 27-35.
- Ramanathan, R., and Ganesh, L.S.**, (1995). Using AHP for Resource Allocation Problems, *European Journal of Operational Research*, Vol. **80**, pp. 410–417.
- Robertson PK, Wride CE** (1998) Evaluating cyclic liquefaction potential using the cone penetration test. *Can Geotech J* 35(3):442–459. doi:10.1139/t98-017
- Saaty, T.L.**, (1977), A Scaling Method for Priorities in Hierarchical Structures, *Journal of Mathematical Psychology*, Vol: **15**, pp. 234-281.
- Saaty, T.L.**, (1980). The Analytic Hierarchy Process, New York, McGraw-Hill.
- Saaty, T.L.**, (1987). Risk – Its Priority and Probability: The Analytic Hierarchy Process, *Risk Analysis*, Vol. 7, pp. 159–172.
- Saaty, T.L.**, 1991a. Modelling the Graduate Business School Admission Process, *Socio-Economic Planning Science*, Vol. **25**, pp. 155–162.
- Saaty, T.L.**, 1991b. Some Mathematical Concepts of The Analytic Hierarchy Process, *Behaviormetrika*, No. 29, pp. 1-9.
- Saaty, T.L.**, 1994b. How to Make a Decision: The Analytic Hierarchy Process, *Interfaces*, Vol. **24**, No. 6, pp. 19-43.
- Saaty, T.L.**, (2008). Relative Measurement and Its Generalization in Decision Making Why Pairwise Comparisons are Central in Mathematics for the Measurement of Intangible Factors: The Analytic Hierarchy/Network Process, *RACSAM*, Vol. **102** (2), pp. 251-318.
- Saltelli, A., Chan, K. & Scott, E. M.** (2000). Sensitivity Analysis, Wiley Series in Probability and Statistics. Willey, New York.
- Sanchez-Sesma FJ** (1983) Diffraction of elastic waves by three-dimensional surface irregularities. *Bull Seismol Soc Am* 73(6):1621–1636
- Sato, T., Kasahara, J., Taymaz, T., Ito, M., Kamimura, A., Hayakawa, T., and Tan, O.**, A study of microearthquake seismicity and focal mechanisms within the sea of marmara (nw turkey) using ocean bottom seismometers (obss), *Tectonophysics*, 391, 303–314, doi:10.1016/j.tecto.2004.07.018, 2004.

- Schoppmeyer J** (1978) Die Wahrnehmung von Rastern und die Abstufung von Tonwertskaletn in der Kartographie. Dissertation, *Friedrich-Wilhelms-Universität zu Bonn*
- Seed HB, Idriss IM** (1971) Simplified procedure for evaluating soil liquefaction potential. *J Soil Mech Found Div* 97(9):1249–1273
- Simon, H.A.**, (1960). The New Science of Management Decisions, *New York: Harper & Row*.
- Star, J. ve Estes, J.** (1990) Geographical Information Systems: An Introduction. Prentice-Hall, *New Jersey*.
- Stein, S. and Wysession, M.**,(2003) An introduction to seismology, earthquakes, and earth structure, *Blackwell Pub.*, Malden, MA, x, 498 pp.
- Tadisina, S.K., Troutt, M.D., and Bhasin, V.**, (1991). Selecting a Doctoral Program Using the Analytic Hierarchy Process – The Importance of Perspectives, *Journal of Operational Research Society*, Vol. 12, No. 8, pp. 631–638.
- Tecim, V.** (1997) A Geographical Information Systems Based Decision Support System For Tourism Planning and Development, *Proceedings of the International Conference on Information and Communication Technologies in Tourism 1997*, Tjoa, A.M. (ed.), Springer -Verlag, Wien, Sayfa 10-19.
- Ticehurst, J. L., Cresswell, H. P. & Jakeman, A. J.** (2003). Using a physically based model to conduct a sensitivity analysis of subsurface lateral flow in south-east Australia. *Environmental Modelling & Software* 18 (8-9): 729-740.
- Toprak, S. and Holzer, T. L.**, Liquefaction potential index: *Field assessment*, *J. Geotech. Geoenviron.*, 129, 315–322, doi:10.1061/(Asce)1090-0241(2003)129:4(315), 2003.
- Triantafyllou, E.**, (2000). Multi-criteria Decision Making Methods: A Comparative Study, *Applied Optimization*, Vol. 44, Kluwer Academic Publishers, Netherlands.
- Triantafyllou, E. ve Sanchez, A.**, (1997). A Sensitivity Analysis Approach for Some Deterministic Multi-criteria Decision-Making Methods, *Decision Sciences*, Vol. 28, Number 1, pp. 151-194.
- Uluğtekin, Necla; Bildirici, İ. Öztuğ.** Coğrafi bilgi sistemi ve harita. 6. 6. *Harita Kurultayı*, 1997, 1-4.
- Xu, E., & Zhang, H.** (2013). Spatially-explicit sensitivity analysis for land suitability evaluation. *Applied Geography*, 45, 1-9.
- Waugh, W.L.**, (2000). *Living with Hazards Dealing with Disasters: An Introduction to Emergency Management*”, M.E. Sharpe Inc., New York, USA.
- Zapatero, E.G., Smith, C.H., and Weistroffer, H.R.**, (1997). Evaluating Multiple-Attribute Decision Support Systems, *Journal of Multicriteria Decision Analysis* 6 (4), pp. 201-214.
- Zoras, S., Triantafyllou, A. G. & Hurley, P. J.** (2007). Grid sensitivity analysis for the calibration of a prognostic meteorological model in complex

terrain by a screening experiment. *Environmental Modelling & Software* 22 (1): 33-39.

EKLER

EK A: ÇİZELGELER

EK B: ŞEKİLLER

EK A: ÇİZELGELER

Çizelge A.1 : TP ölçütü için duyarlılık analizi											
	Ağırlıklar	0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	100%
TP	0.060	0.000	0.100	0.200	0.300	0.400	0.500	0.600	0.700	0.800	1.000
DU	0.380	0.405	0.364	0.324	0.283	0.243	0.202	0.162	0.121	0.081	0.000
ZS	0.240	0.255	0.230	0.204	0.179	0.153	0.128	0.102	0.077	0.051	0.000
SP	0.220	0.234	0.210	0.187	0.164	0.140	0.117	0.093	0.070	0.047	0.000
FM	0.100	0.106	0.096	0.085	0.074	0.064	0.053	0.043	0.032	0.021	0.000
Toplam	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Çizelge A.2 : DU ölçütü için duyarlılık analizi											
	Ağırlıklar	0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	100%
TP	0.060	0.097	0.087	0.077	0.068	0.058	0.048	0.039	0.029	0.019	0.000
DU	0.380	0.000	0.100	0.200	0.300	0.400	0.500	0.600	0.700	0.800	1.000
ZS	0.240	0.387	0.348	0.310	0.271	0.232	0.194	0.154	0.116	0.078	0.000
SP	0.220	0.355	0.319	0.284	0.248	0.213	0.177	0.142	0.106	0.071	0.000
FM	0.100	0.161	0.145	0.129	0.113	0.097	0.081	0.065	0.048	0.032	0.000
Toplam	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

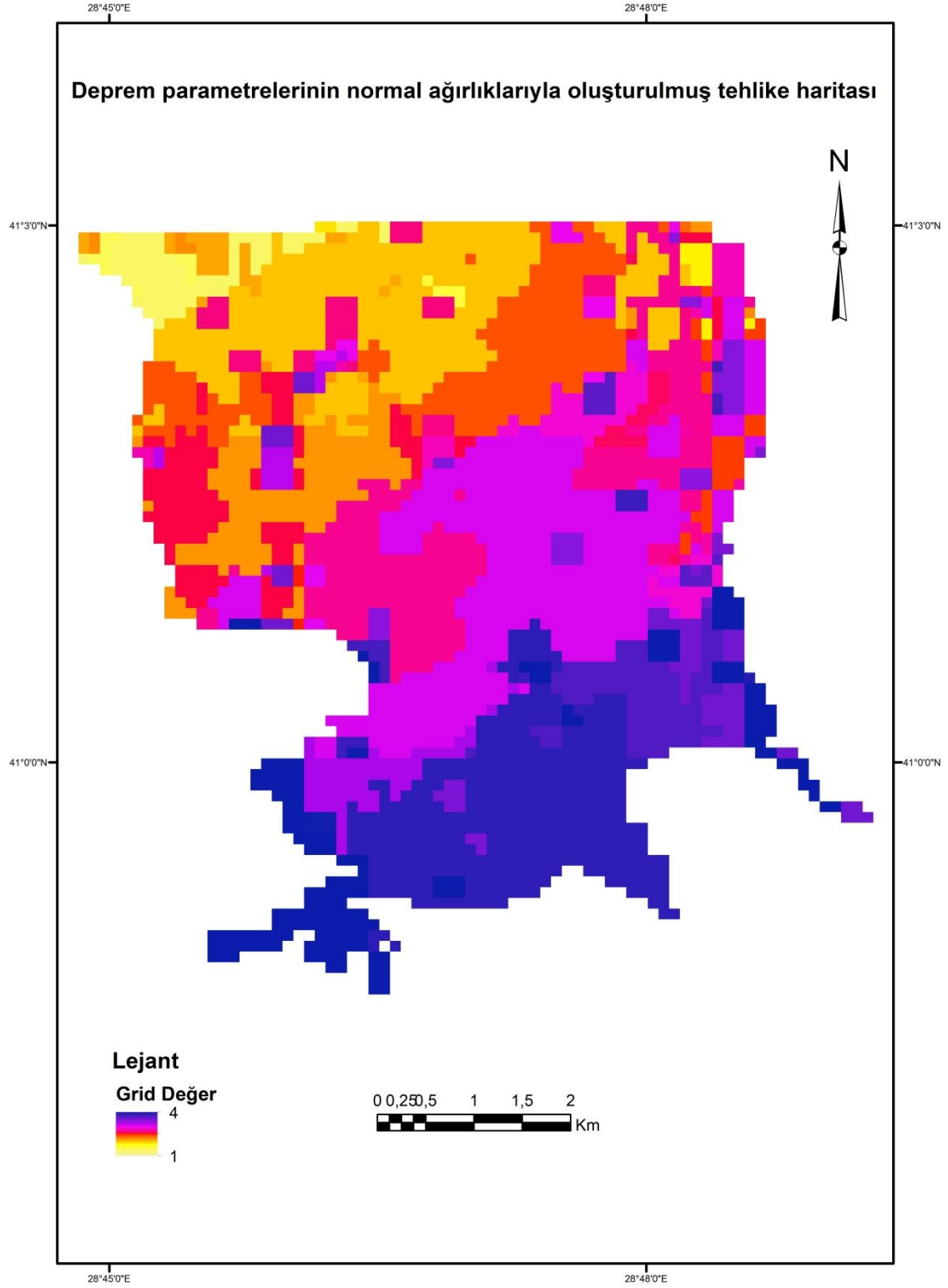
Çizelge A.3 : ZS ölçütü için duyarlılık analizi											
	Ağırlıklar	0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	100%
TP	0.060	0.079	0.071	0.063	0.055	0.047	0.039	0.032	0.024	0.016	0.000
DU	0.380	0.500	0.450	0.400	0.350	0.300	0.250	0.200	0.150	0.100	0.000
ZS	0.240	0.000	0.100	0.200	0.300	0.400	0.500	0.600	0.700	0.800	1.000
SP	0.220	0.289	0.261	0.232	0.203	0.174	0.145	0.116	0.087	0.058	0.000
FM	0.100	0.132	0.118	0.105	0.092	0.079	0.066	0.053	0.039	0.026	0.000
Toplam	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Çizelge A.4 : SP ölçütü için duyarlılık analizi											
	Ağırlıklar	0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	100%
TP	0.060	0.077	0.070	0.062	0.054	0.046	0.038	0.031	0.023	0.015	0.000
DU	0.380	0.487	0.438	0.390	0.341	0.292	0.244	0.195	0.146	0.097	0.000
ZS	0.240	0.308	0.277	0.245	0.215	0.185	0.154	0.123	0.092	0.062	0.000
SP	0.220	0.000	0.100	0.200	0.300	0.400	0.500	0.600	0.700	0.800	1.000
FM	0.100	0.128	0.115	0.103	0.090	0.077	0.064	0.051	0.038	0.026	0.000
Toplam	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

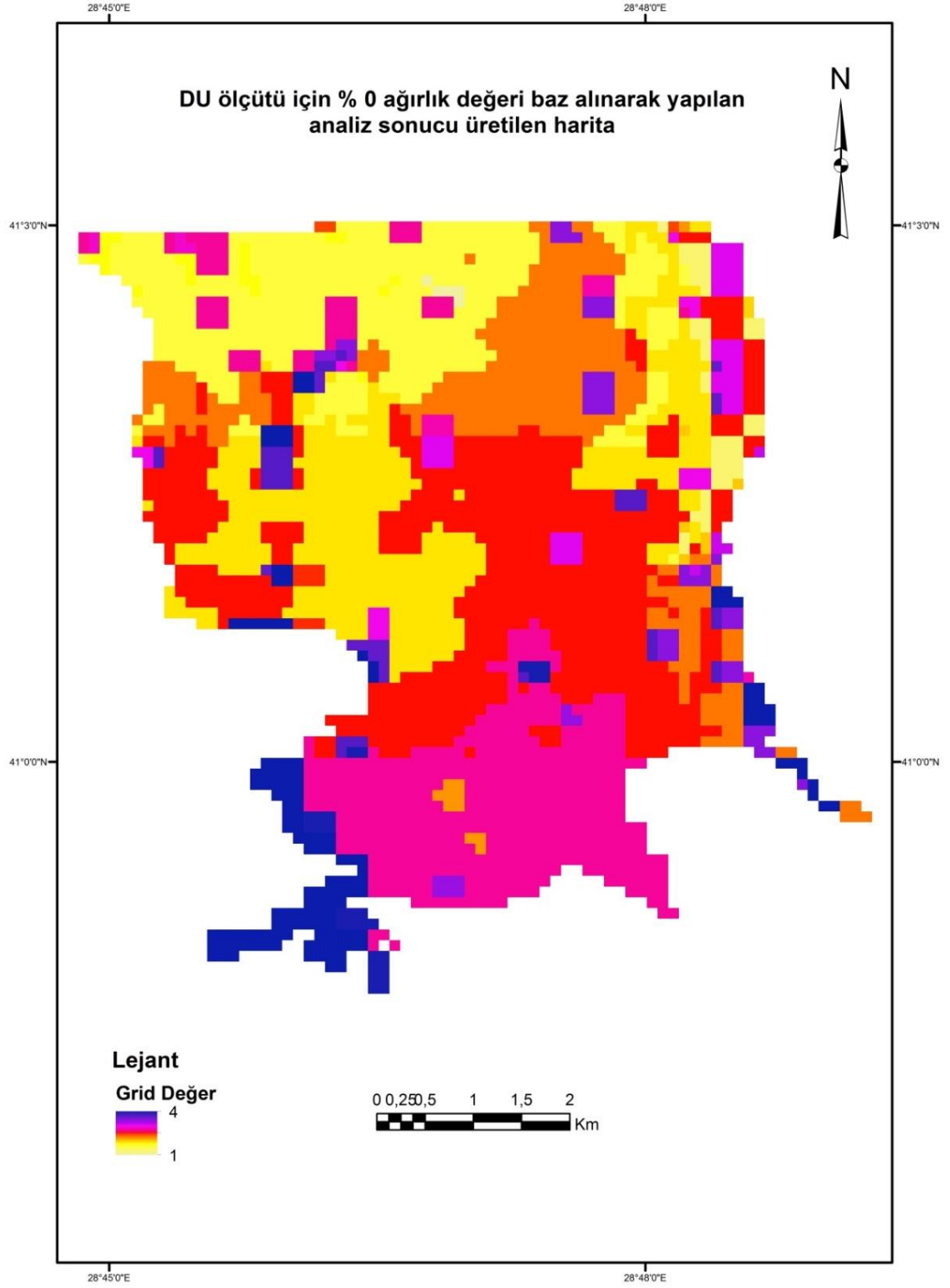
Çizelge A.5 : FM ölçütü için duyarlılık analizi											
	Ağırlıklar	0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	100%
TP	0.060	0.067	0.060	0.053	0.047	0.040	0.033	0.027	0.020	0.013	0.000
DU	0.380	0.422	0.380	0.338	0.296	0.253	0.212	0.168	0.127	0.084	0.000
ZS	0.240	0.267	0.240	0.213	0.187	0.160	0.133	0.107	0.080	0.053	0.000
SP	0.220	0.244	0.220	0.196	0.171	0.147	0.122	0.098	0.073	0.049	0.000
FM	0.100	0.000	0.100	0.200	0.300	0.400	0.500	0.600	0.700	0.800	1.000
Toplam	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Çizelge A.6 : Parametrelere göre değer artırımın normal ağırlıklı raster'a göre mutlak fark değerleri toplamı										
ΣFARK/ARALIK	0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	100%
NA-DU	1029.25	759.2	485.77	215.93	54.12	327.55	594.02	867.44	1136.93	1676.82
NA-FM	224.86	0	224.86	453.22	674.29	902.95	1123.71	1352.37	1573.44	2026.66
NA-SP	997.93	541.34	89.41	363.49	816.39	1268.88	1725.46	2178.36	2630.71	3539.78
NA-TP	261.21	171.2	607.25	1043.95	1475.71	1912.41	2348.46	2780.87	3216.92	4085.38
NA-ZS	396.87	233.95	67.44	99.07	265.57	432.07	595.6	762.11	928.61	1261.62

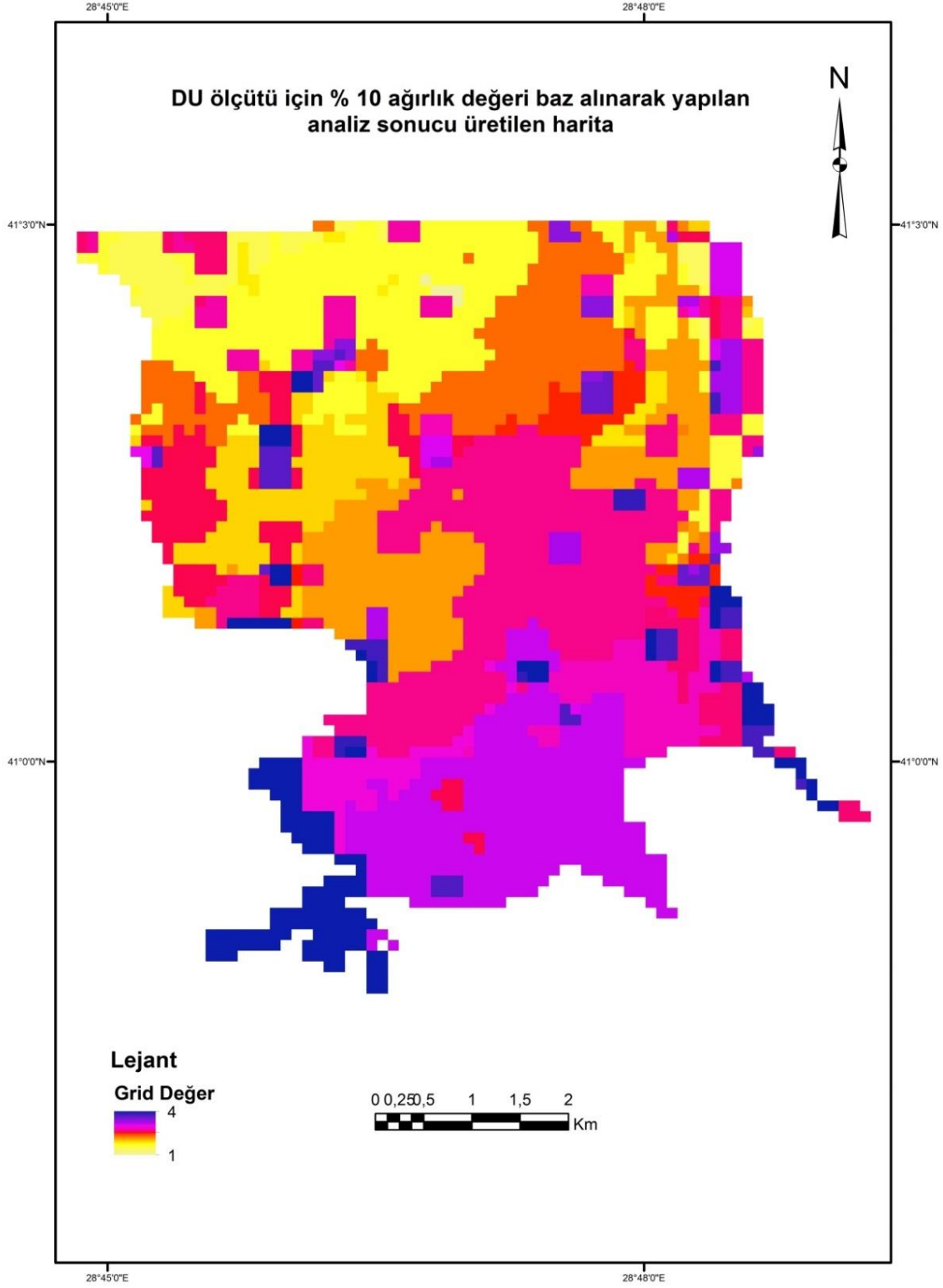
EK B: HARİTALAR



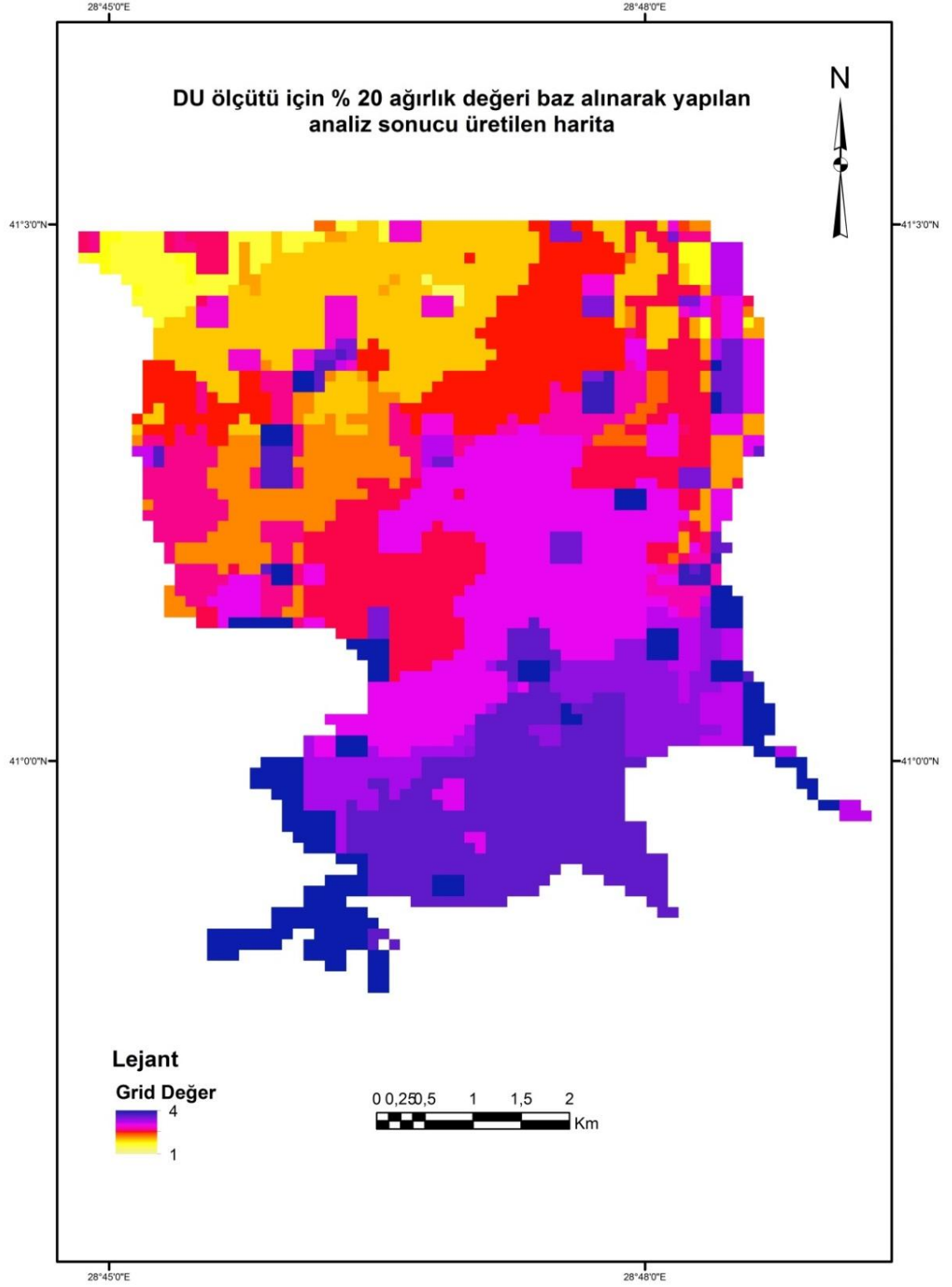
Şekil B.1 : Deprem parametrelerinin normal ağırlıklarıyla oluşturulmuş tehlike haritası



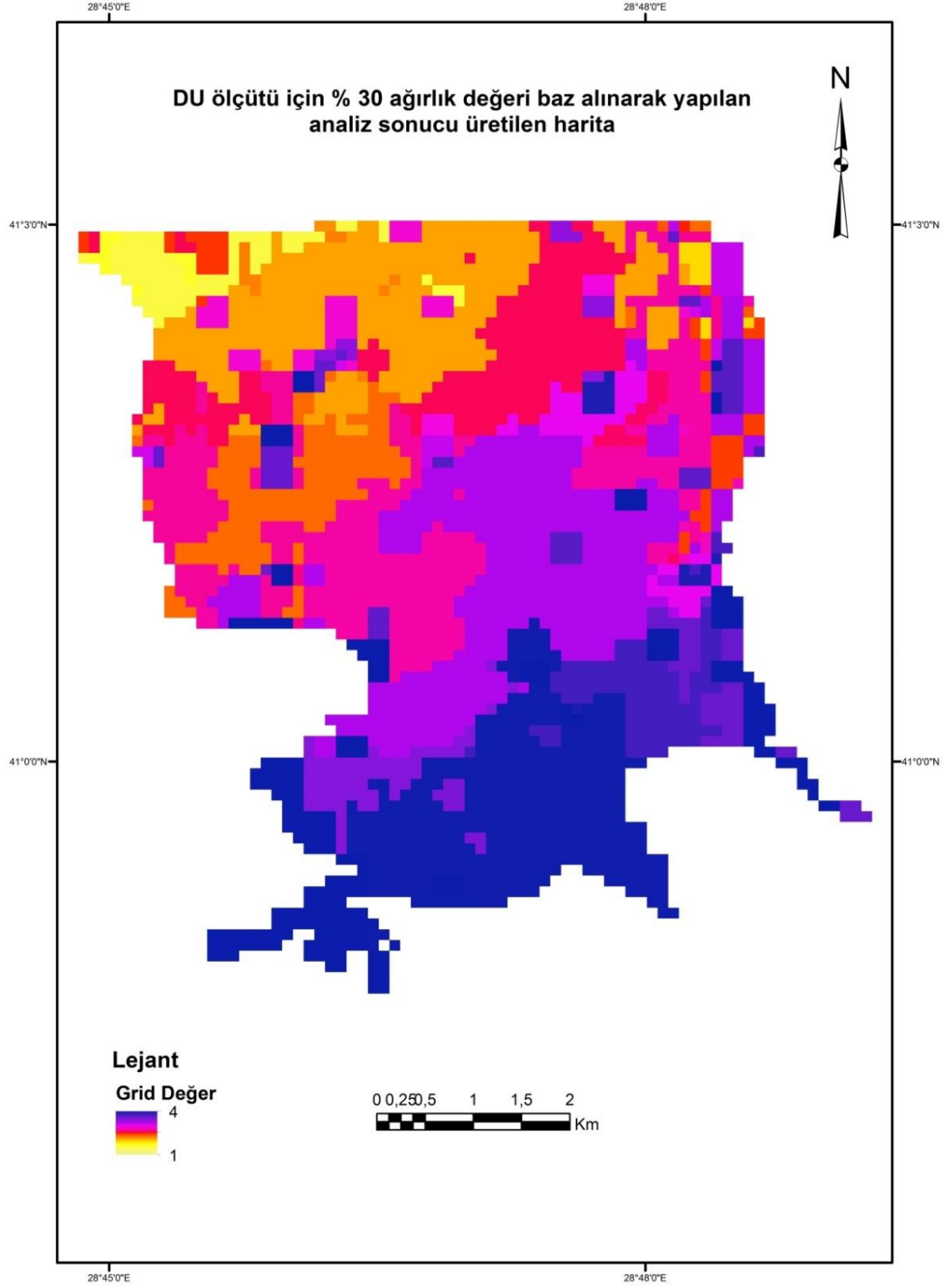
Şekil B.2 : DU Ölçütü için % 0 ağırlık değeri baz alınarak yapılan analiz sonucu üretilen harita



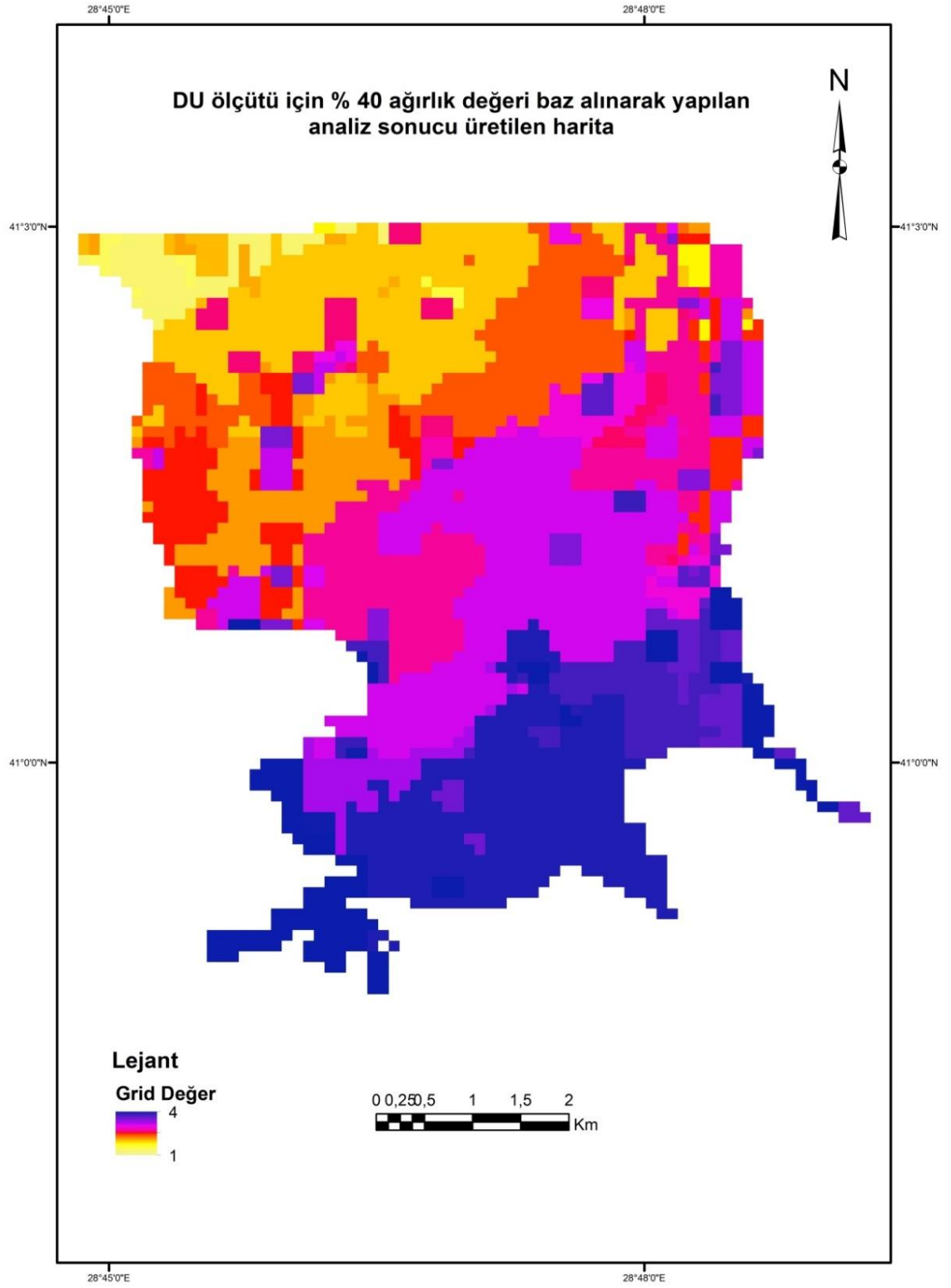
Şekil B.3 : DU Ölçütü için % 10 ağırlık değeri baz alınarak yapılan analiz sonucu üretilen harita



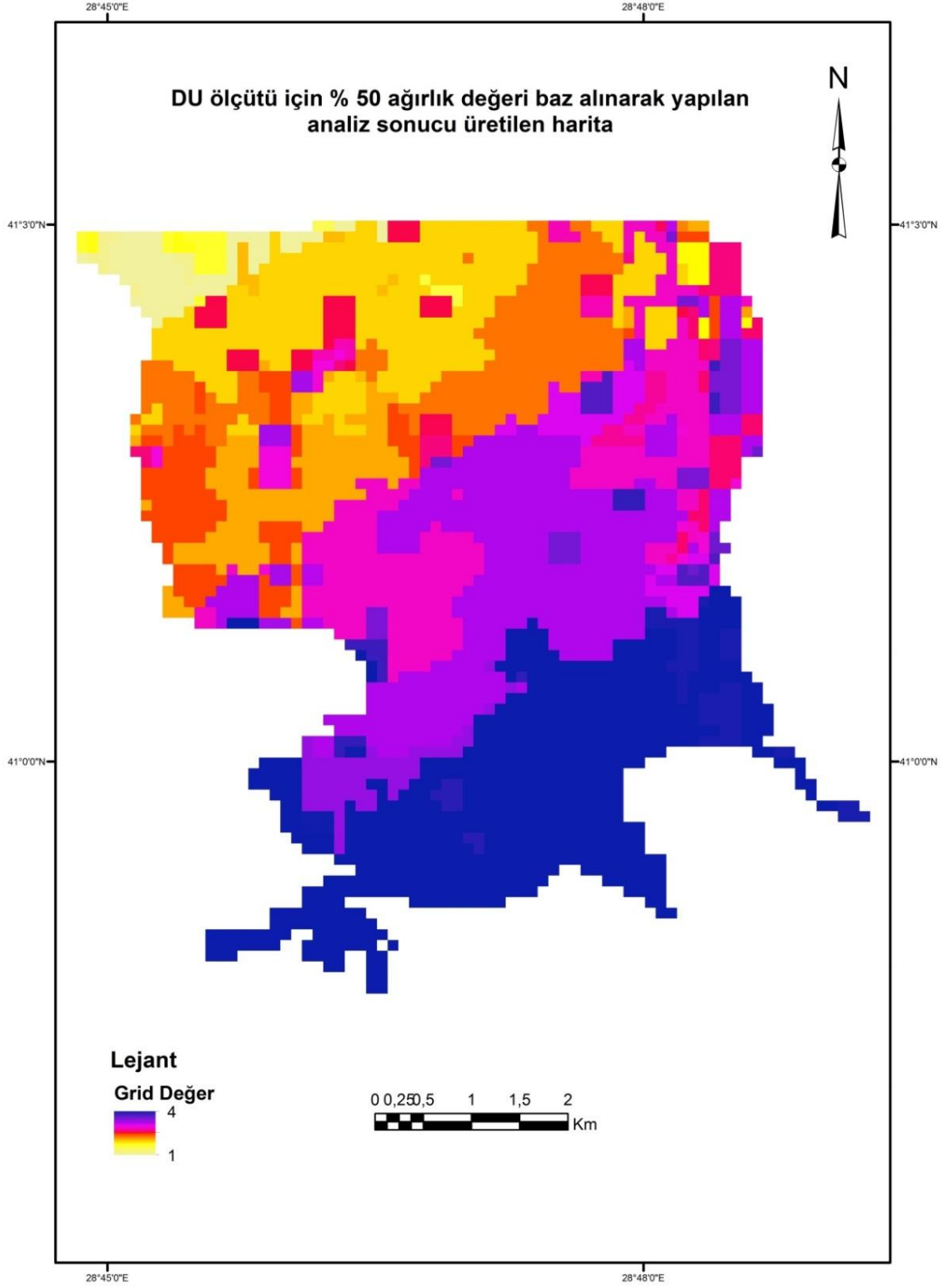
Şekil B.4 : DU Ölçütü için % 20 ağırlık değeri baz alınarak yapılan analiz sonucu üretilen harita



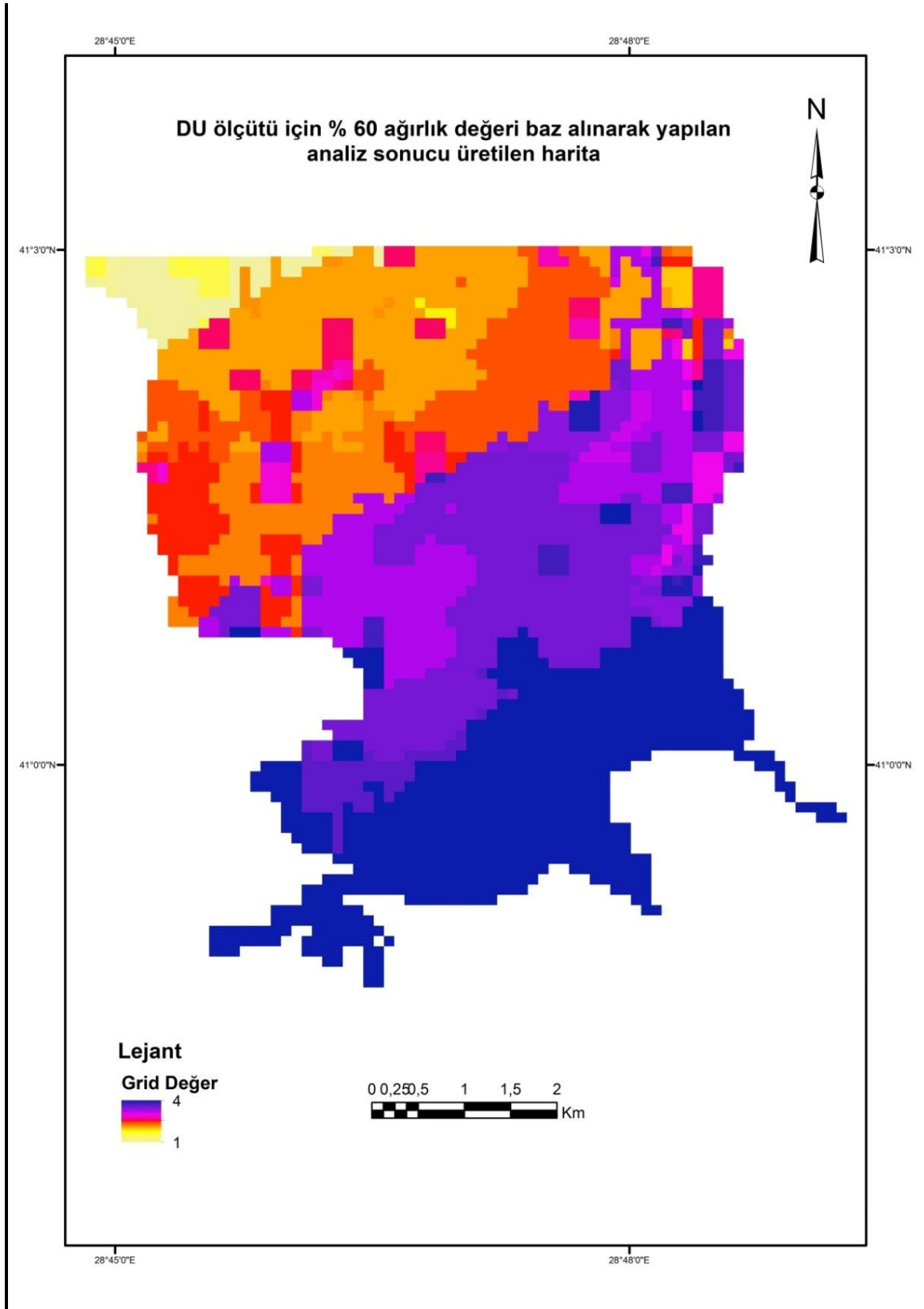
Şekil B.5 : DU Ölçütü için % 30 ağırlık değeri baz alınarak yapılan analiz sonucu üretilen harita



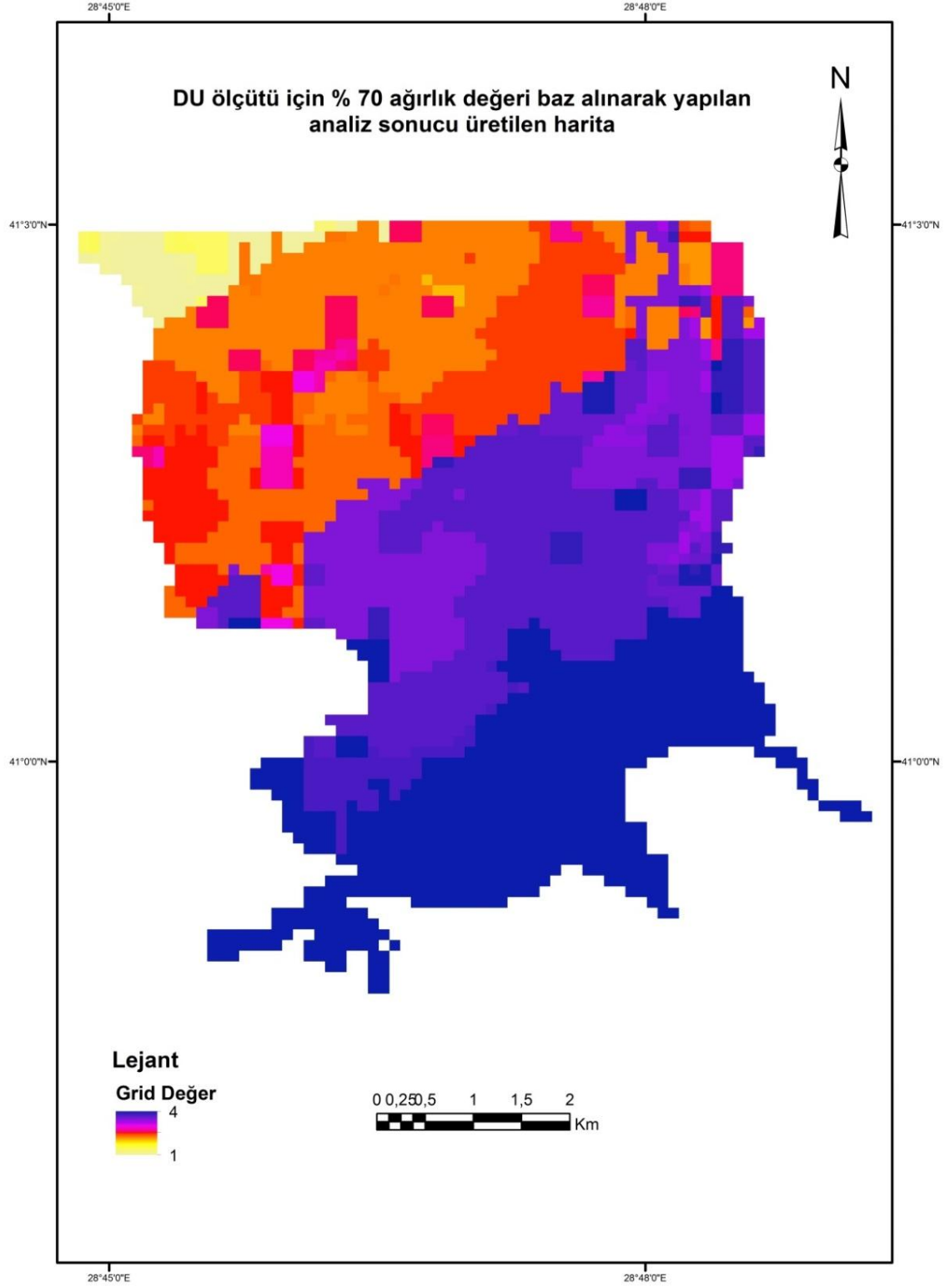
Şekil B.6 : DU Ölçütü için % 40 ağırlık değeri baz alınarak yapılan analiz sonucu üretilen harita



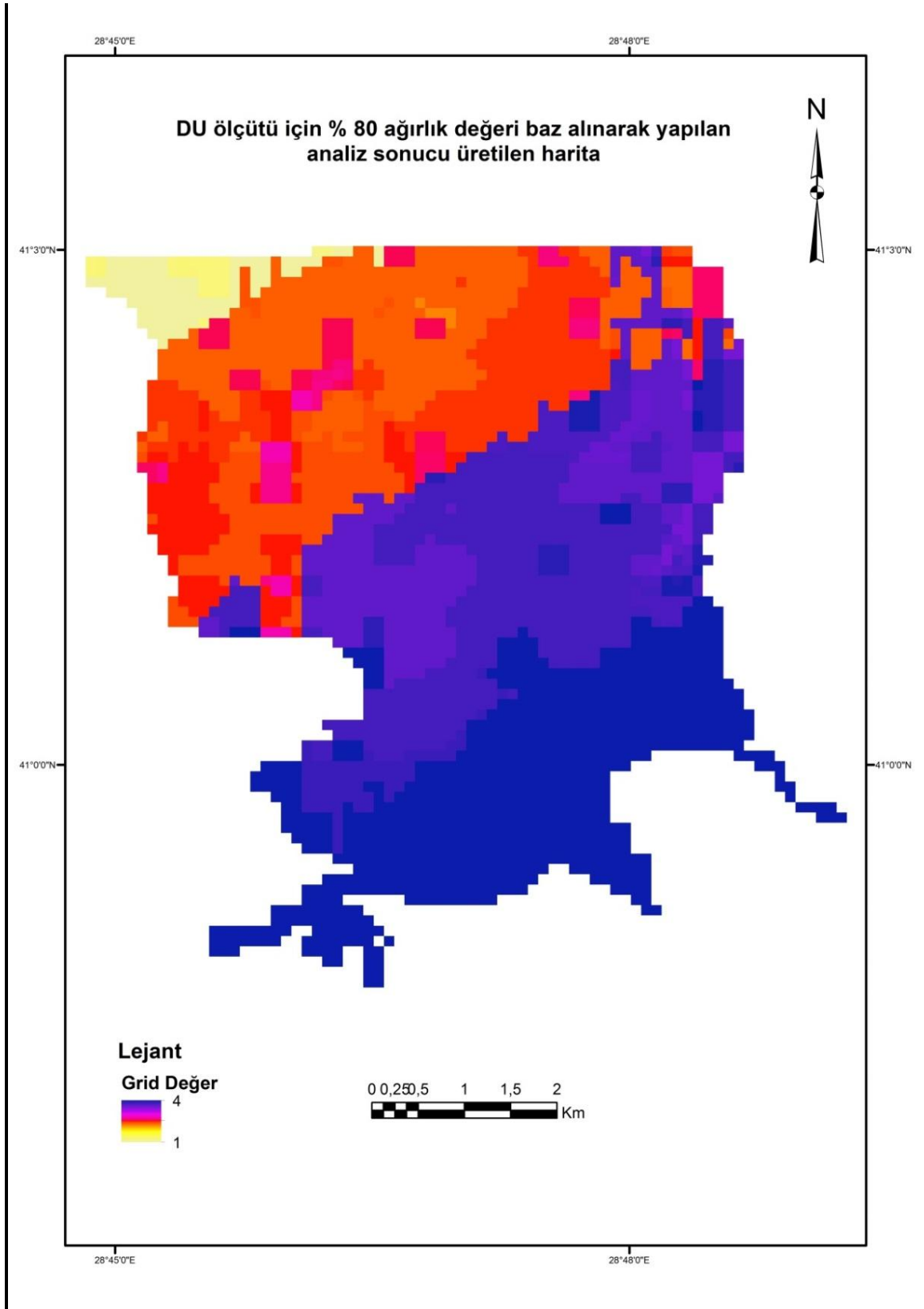
Şekil B.7 : DU Ölçütü için % 50 ağırlık değeri baz alınarak yapılan analiz sonucu üretilen harita



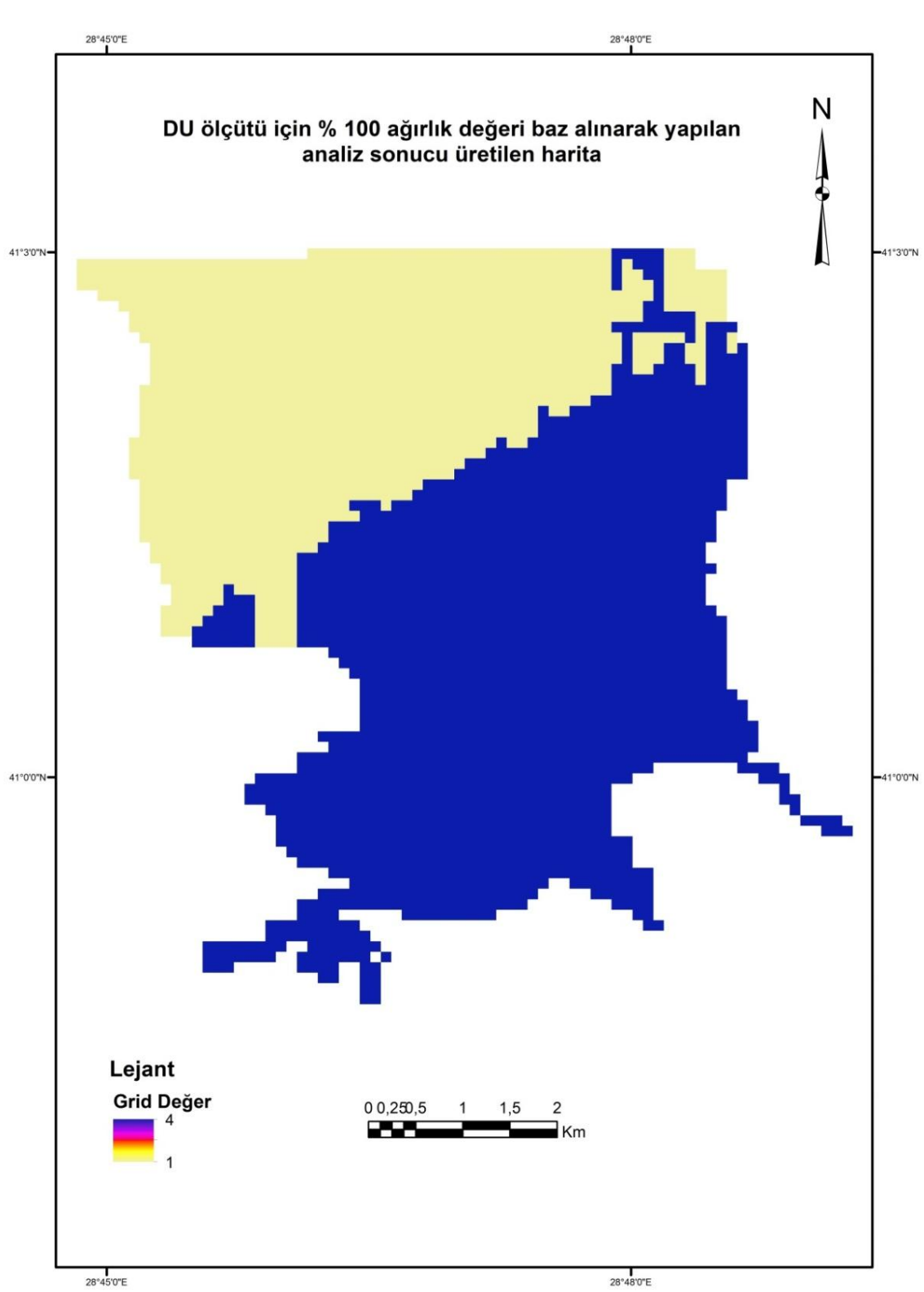
Şekil B.8 : DU Ölçütü için % 60 ağırlık değeri baz alınarak yapılan analiz sonucu üretilen harita



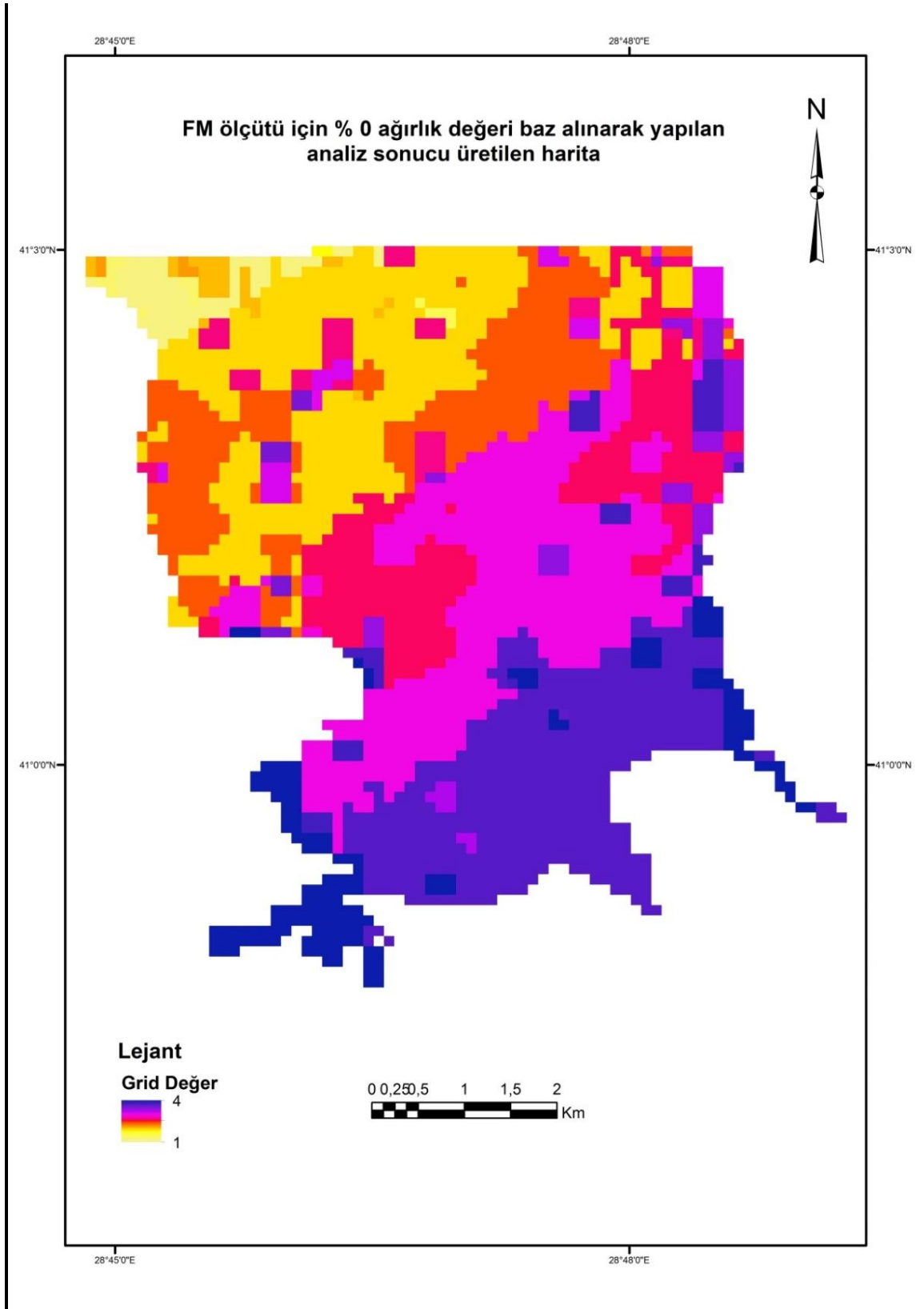
Şekil B.9 : DU Ölçütü için % 70 ağırlık değeri baz alınarak yapılan analiz sonucu üretilen harita



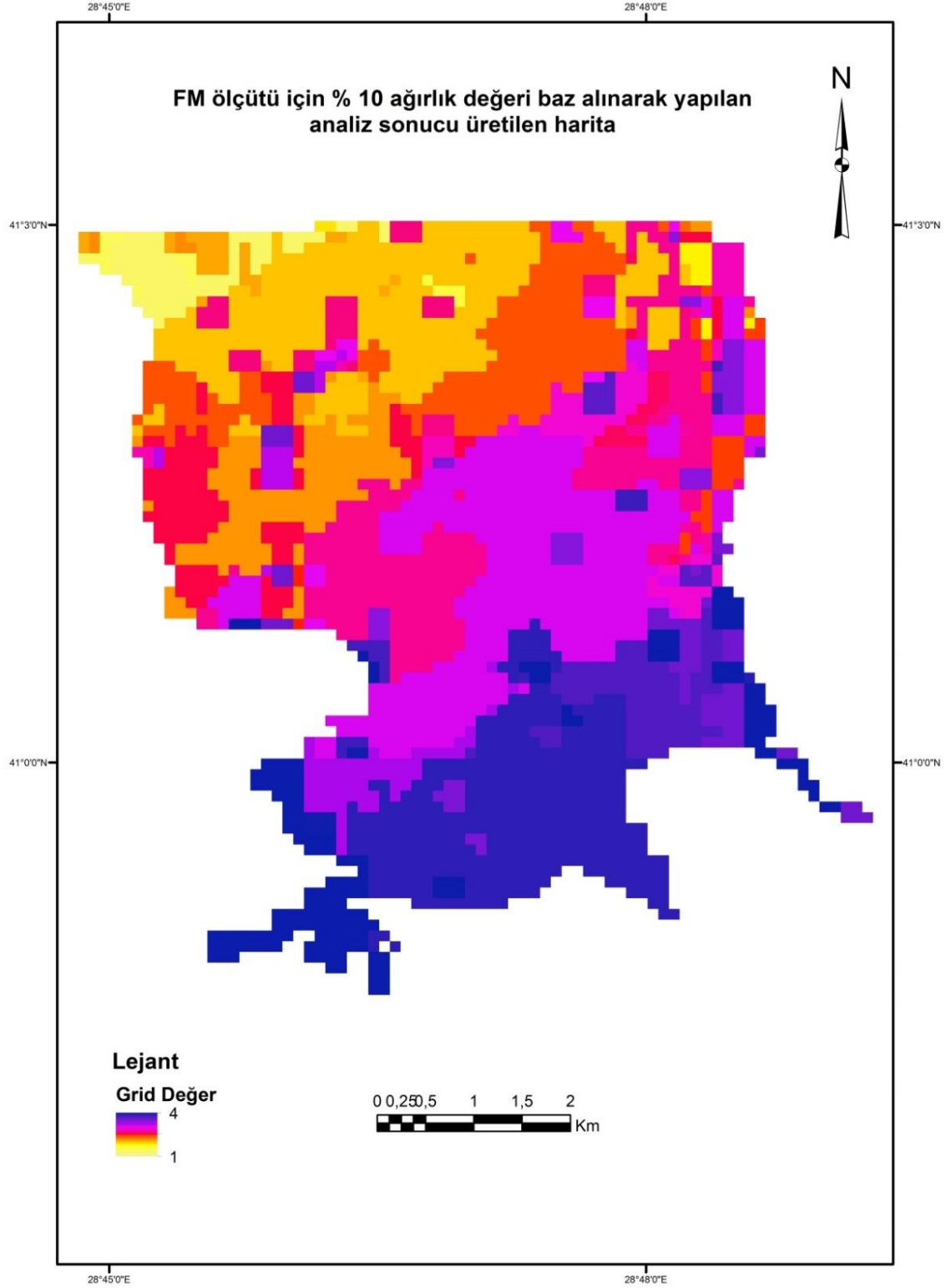
Şekil B.10 : DU Ölçütü için % 80 ağırlık değeri baz alınarak yapılan analiz sonucu üretilen harita



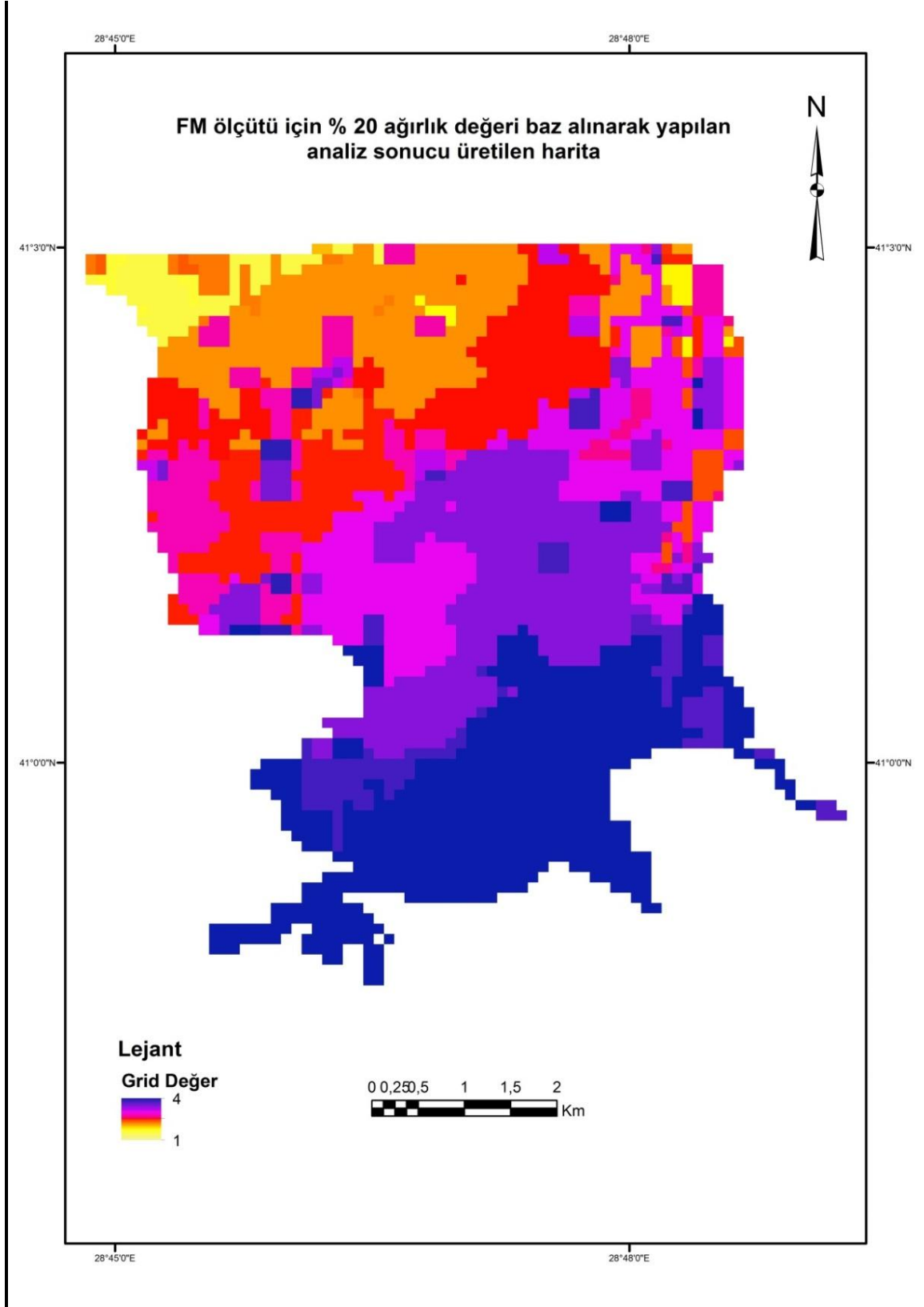
Şekil B.11 : DU Ölçütü için % 100 ağırlık değeri baz alınarak yapılan analiz sonucu üretilen harita



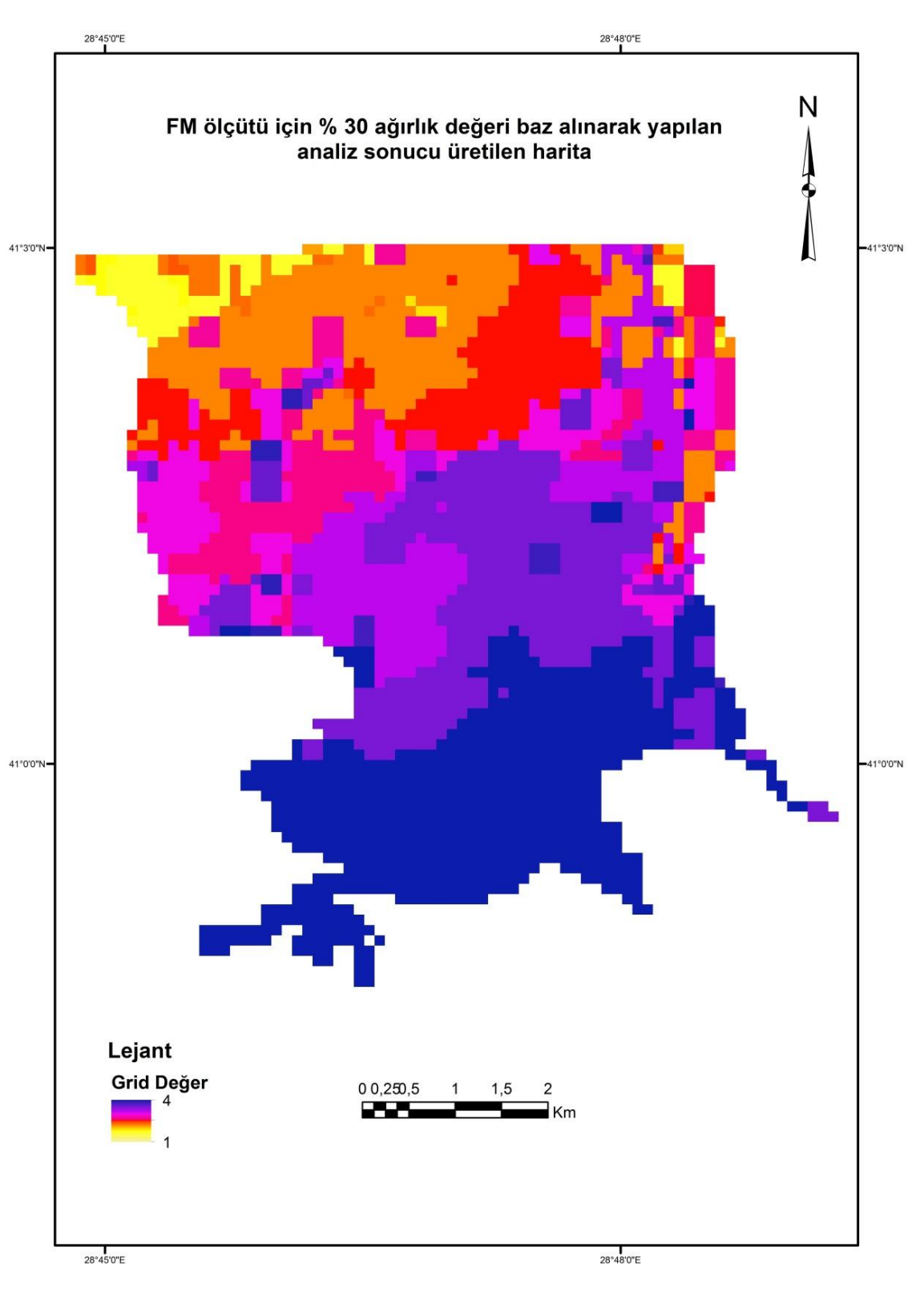
Şekil B.12 : FM Ölçütü için % 0 ağırlık değeri baz alınarak yapılan analiz sonucu üretilen harita



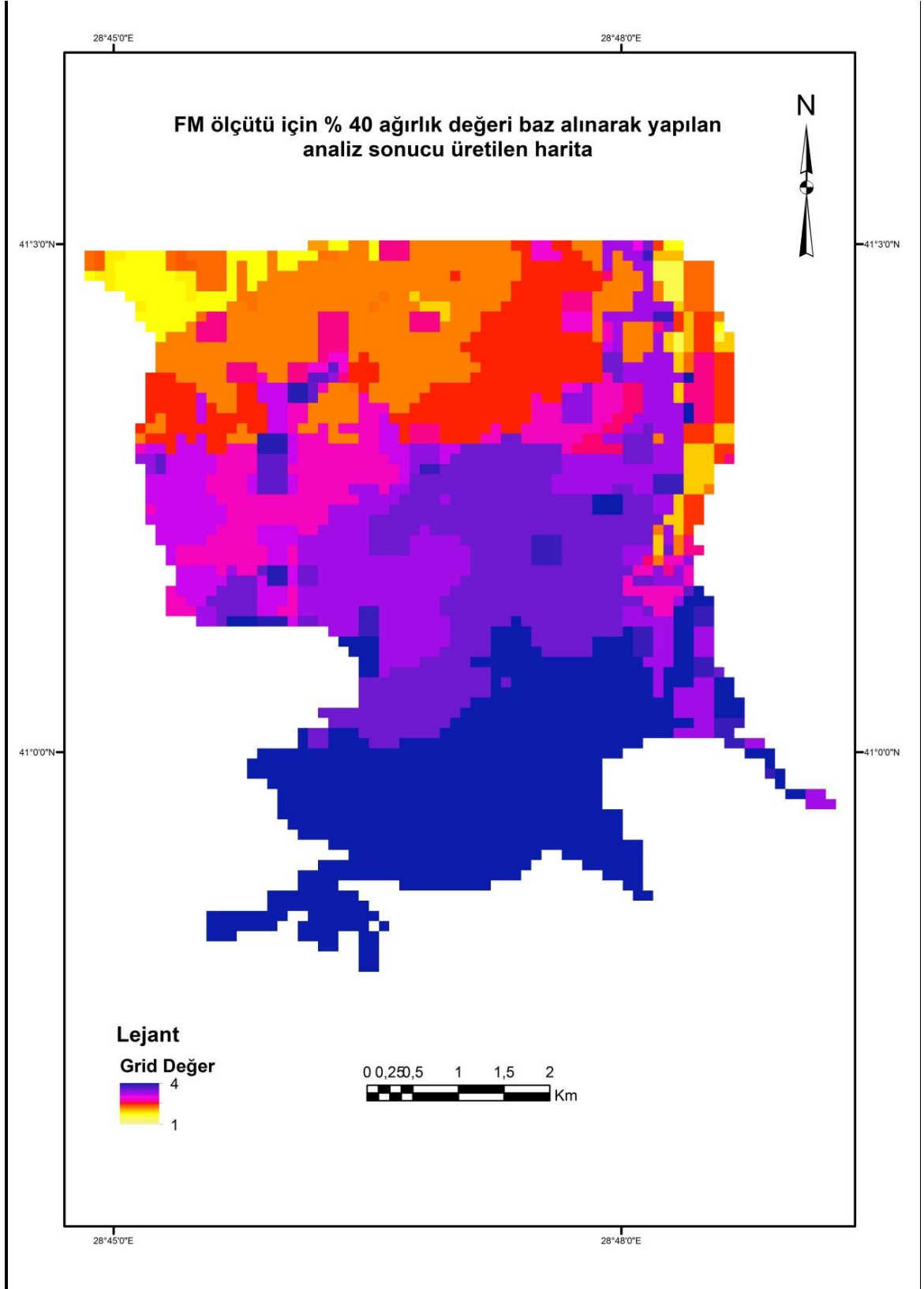
Şekil B.13 : FM Ölçütü için % 10 ağırlık değeri baz alınarak yapılan analiz sonucu üretilen harita



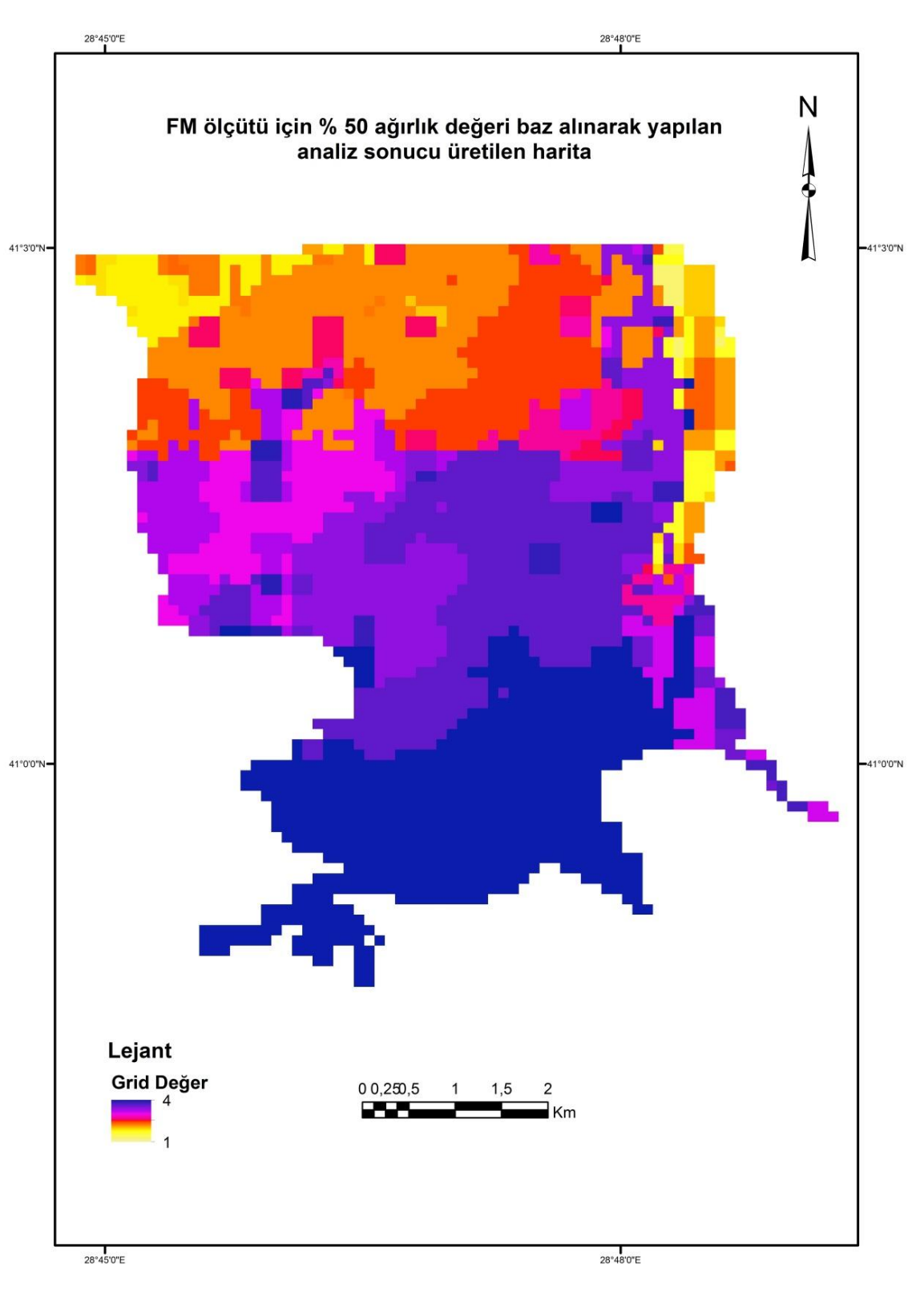
Şekil B.14 : FM Ölçütü için % 20 ağırlık değeri baz alınarak yapılan analiz sonucu üretilen harita



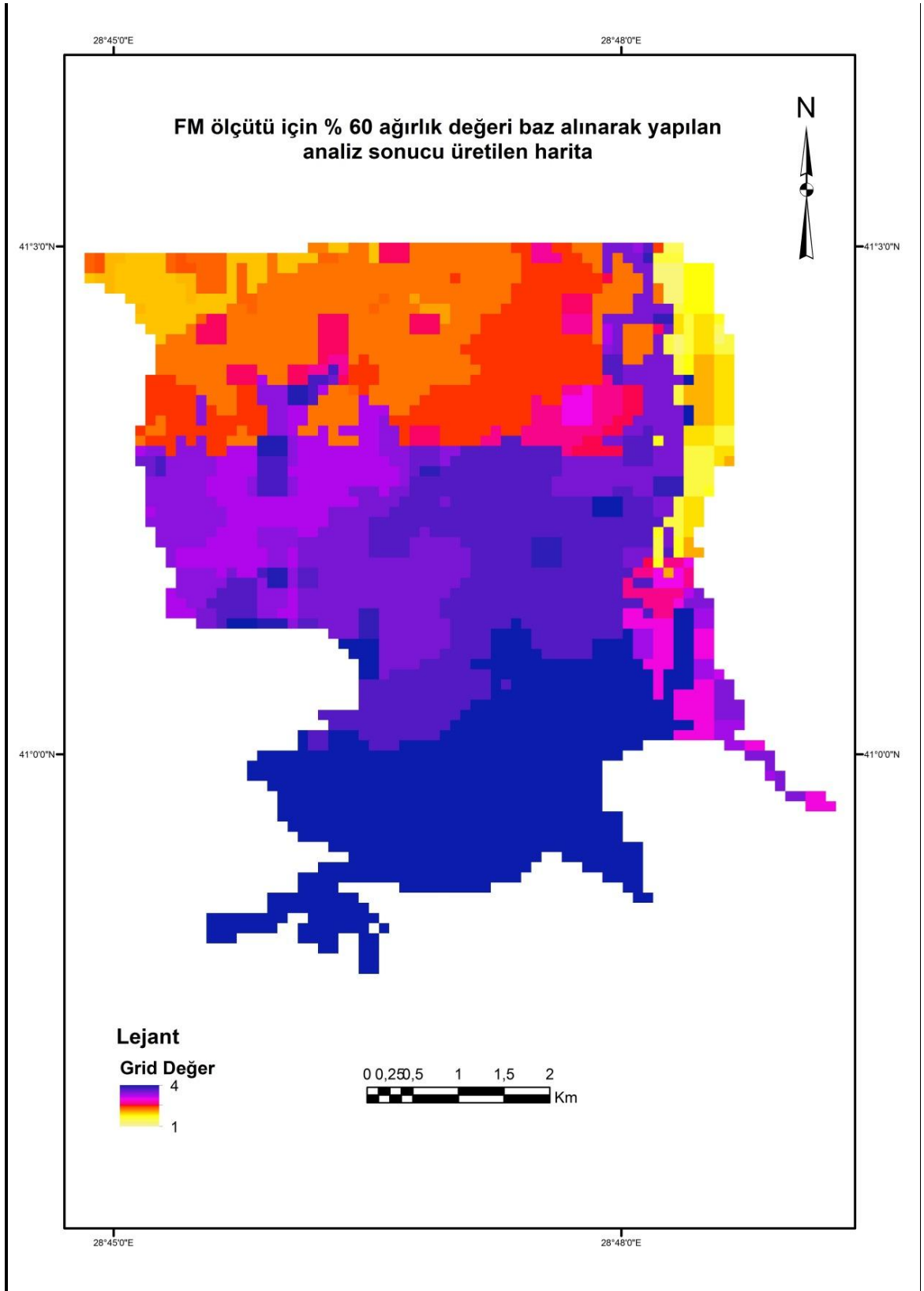
Şekil B.15 : FM Ölçütü için % 30 ağırlık değeri baz alınarak yapılan analiz sonucu üretilen harita



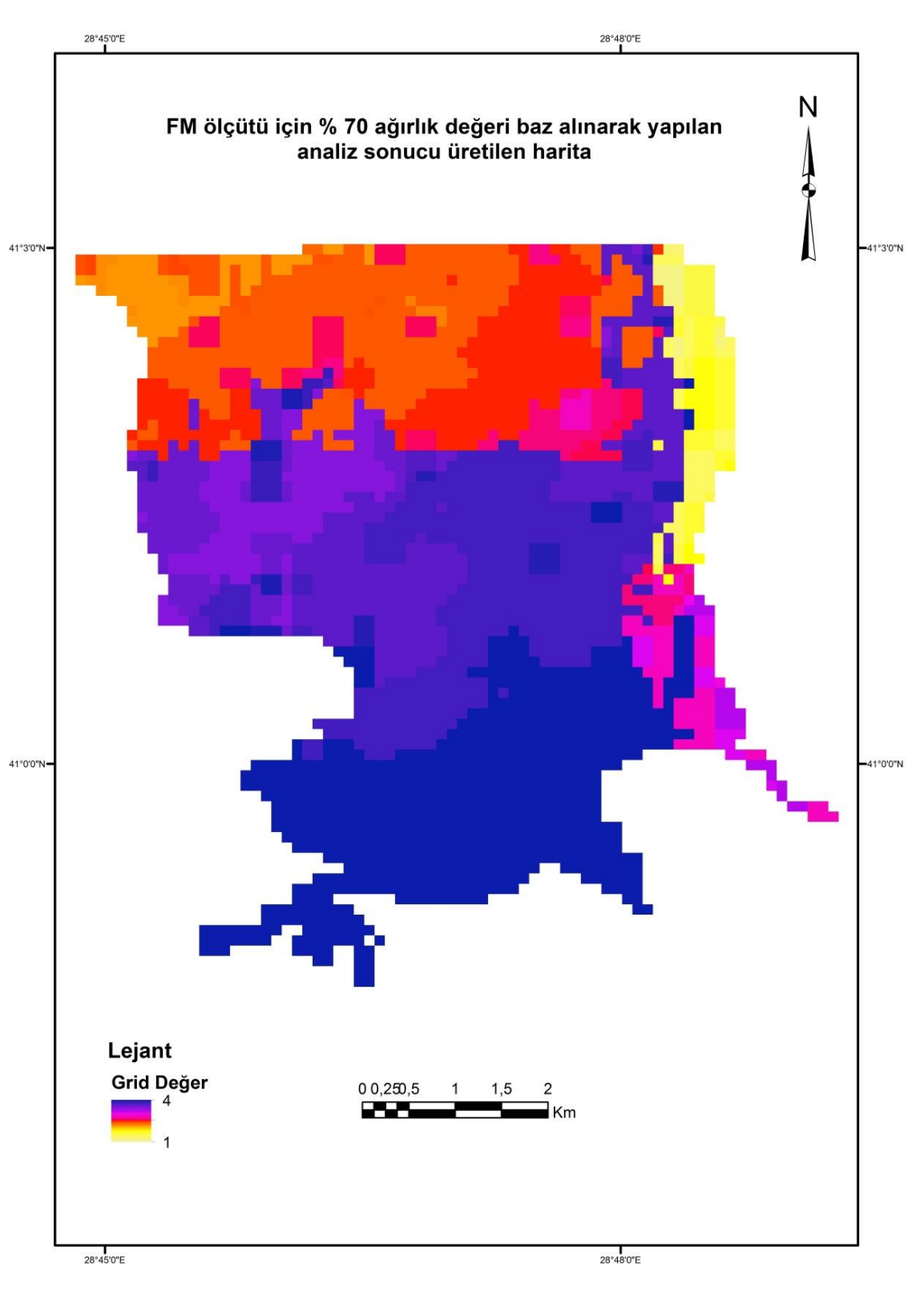
Şekil B.16 : FM Ölçütü için % 40 ağırlık değeri baz alınarak yapılan analiz sonucu üretilen harita



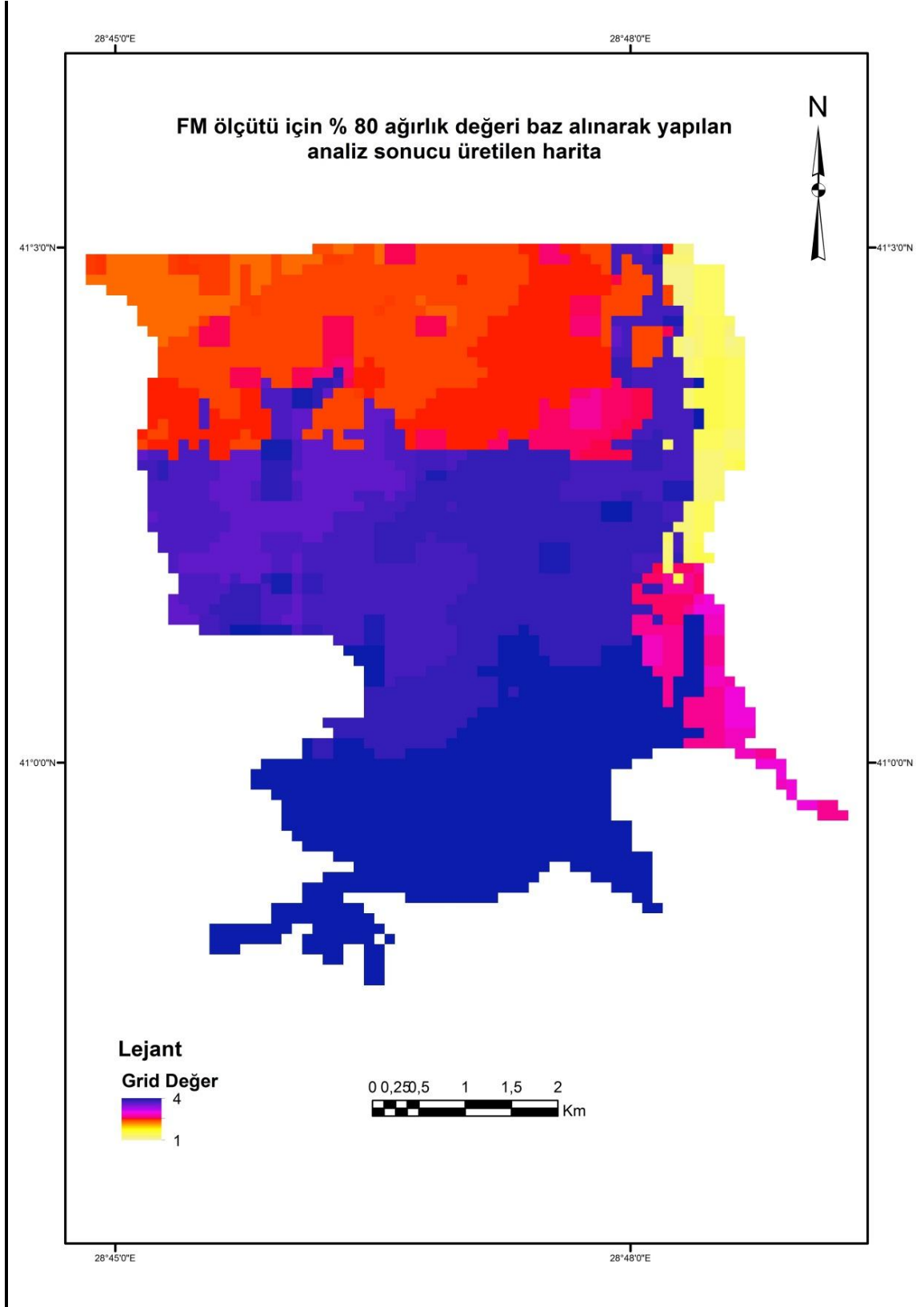
Şekil B.17 : FM Ölçütü için % 50 ağırlık değeri baz alınarak yapılan analiz sonucu üretilen harita



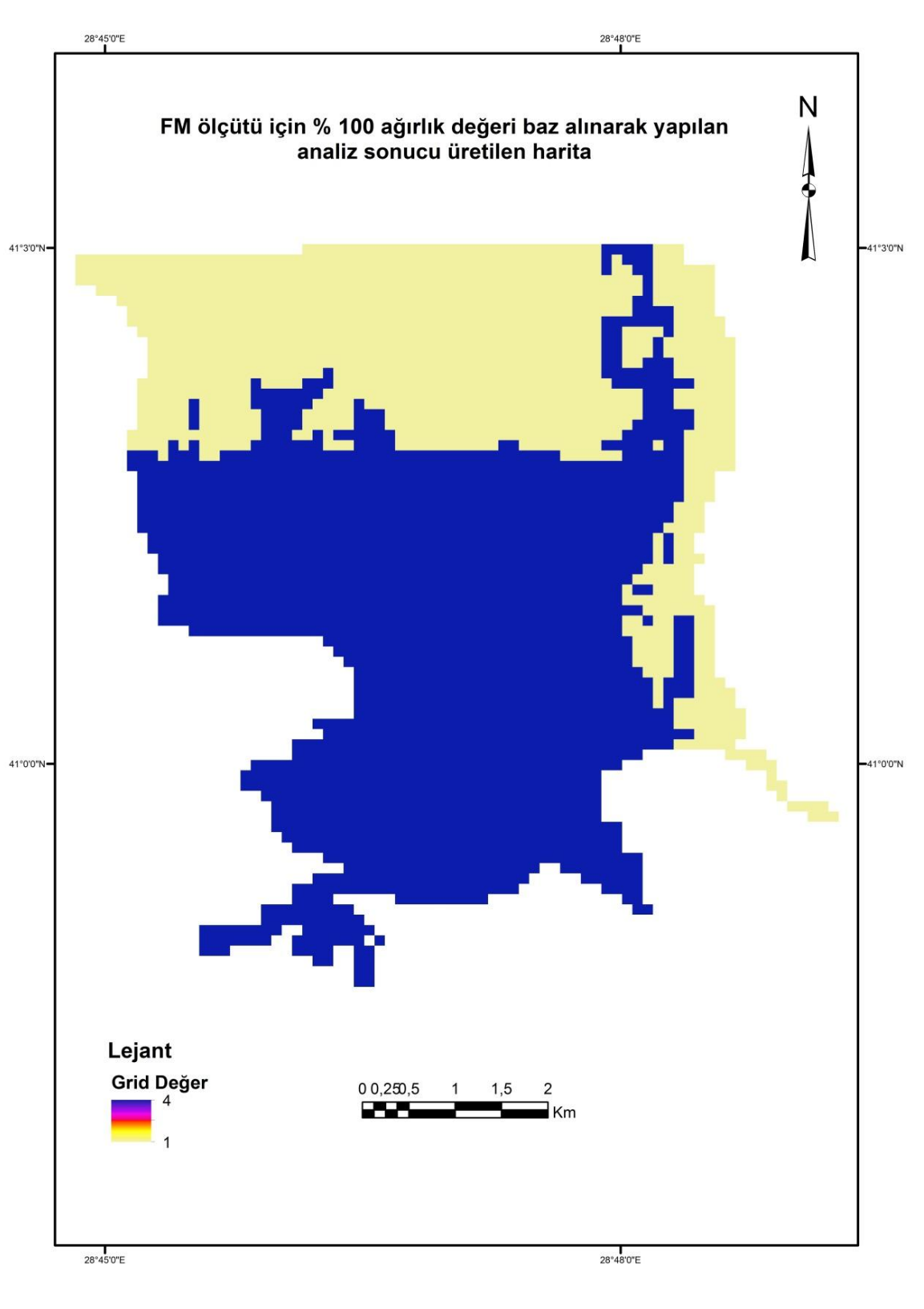
Şekil B.18 : FM Ölçütü için % 60 ağırlık değeri baz alınarak yapılan analiz sonucu üretilen harita



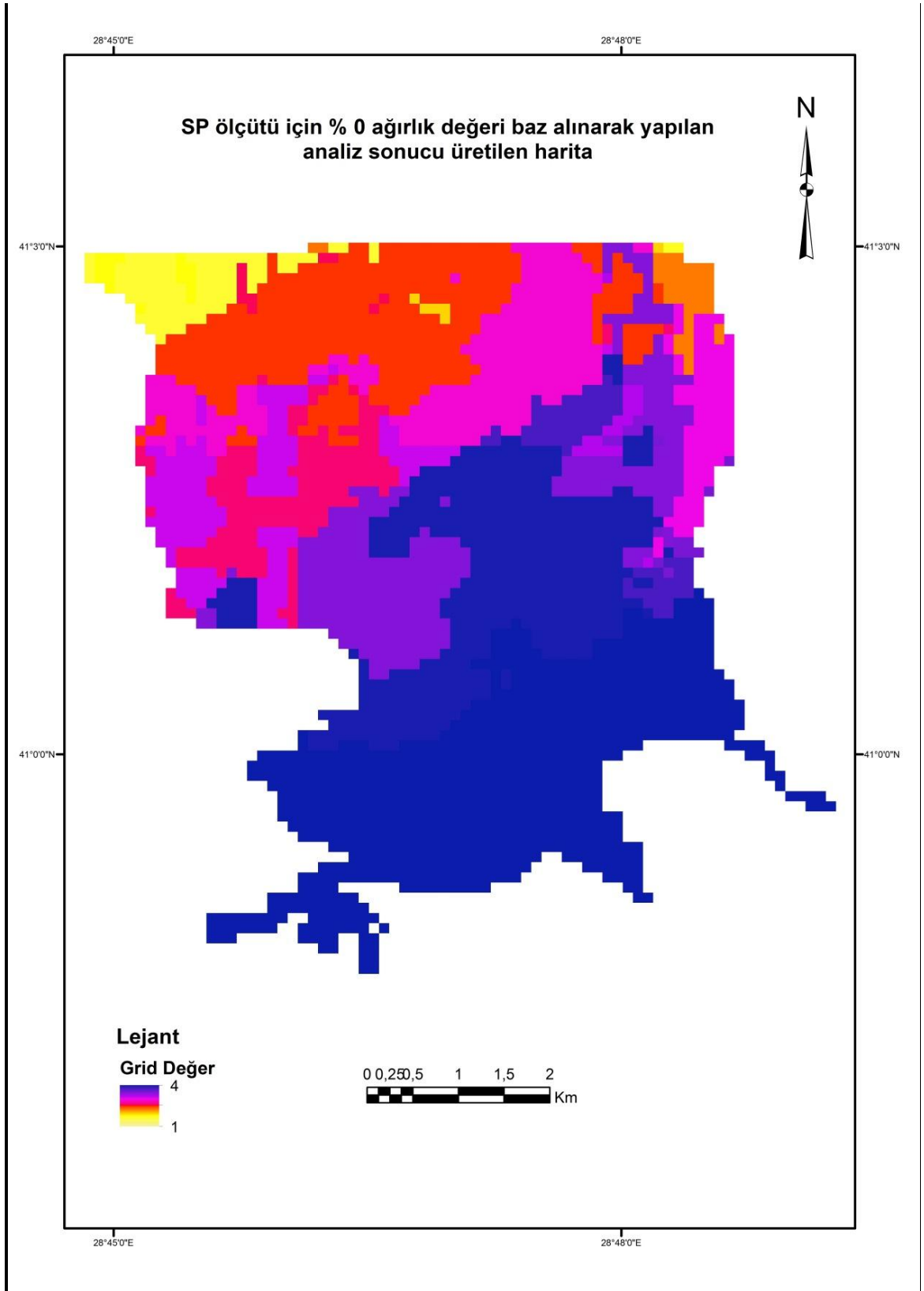
Şekil B.19 : FM Ölçütü için % 70 ağırlık değeri baz alınarak yapılan analiz sonucu üretilen harita



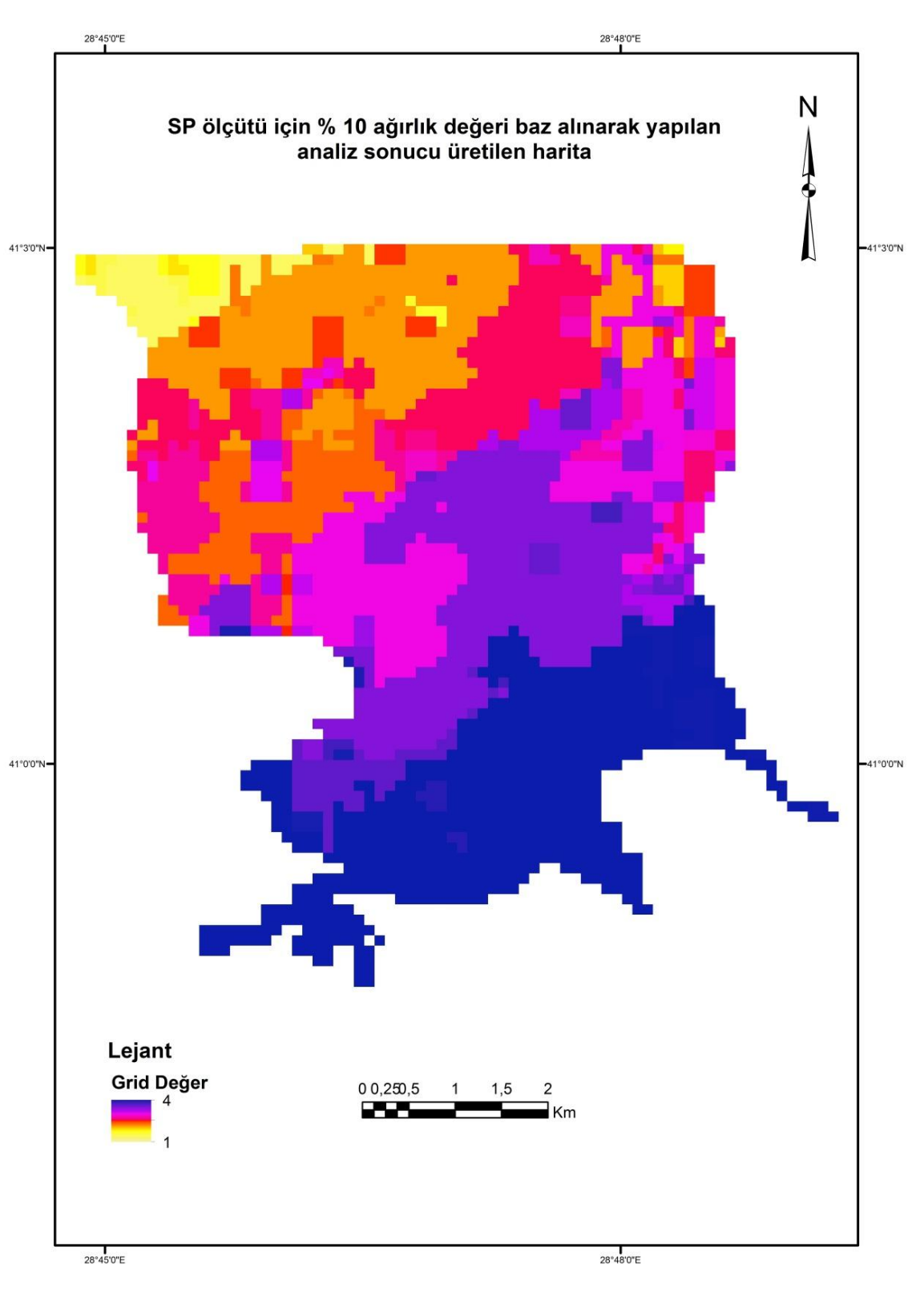
Şekil B.20 : FM Ölçütü için % 80 ağırlık değeri baz alınarak yapılan analiz sonucu üretilen harita



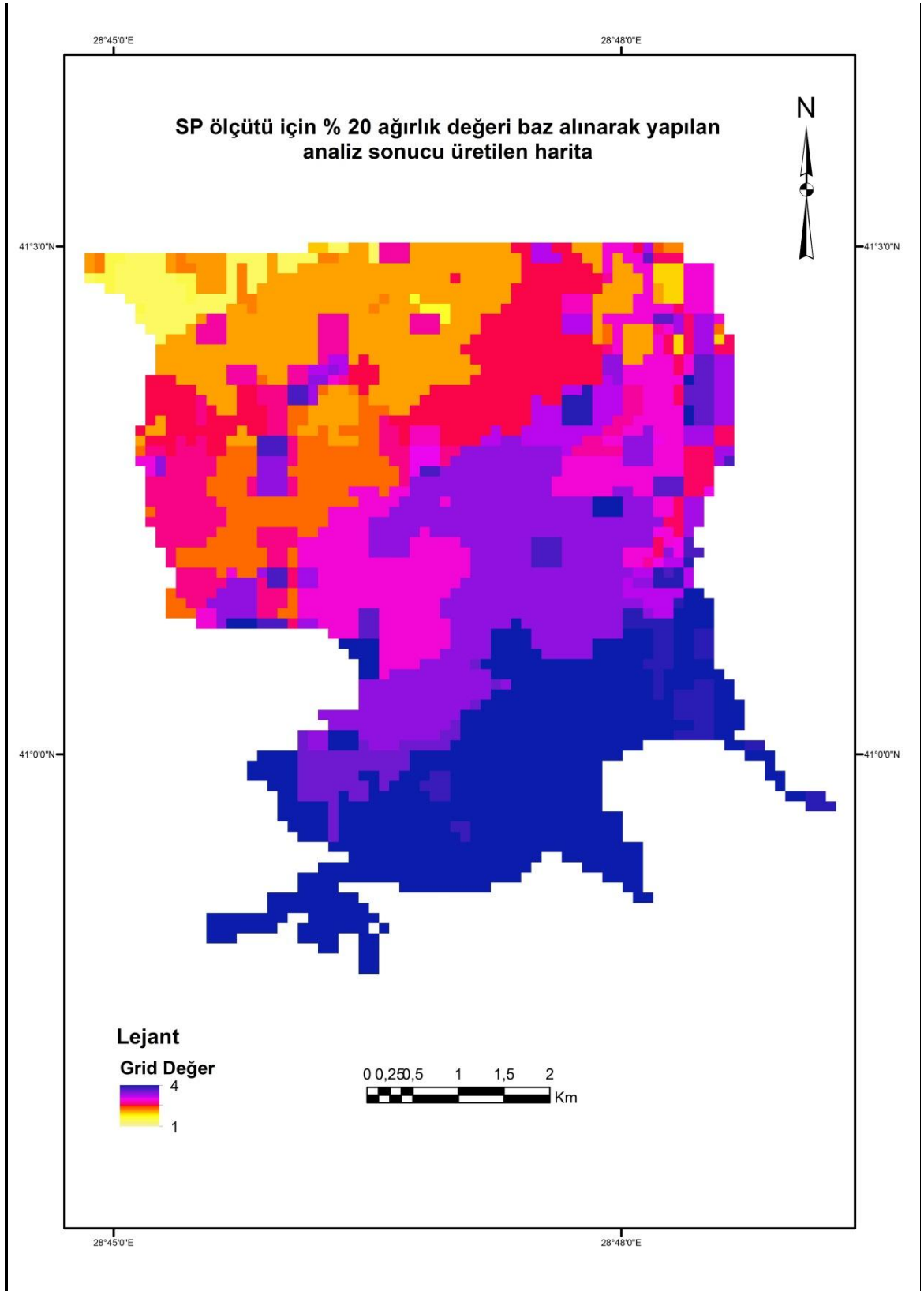
Şekil B.21 : FM Ölçütü için % 100 ağırlık değeri baz alınarak yapılan analiz sonucu üretilen harita



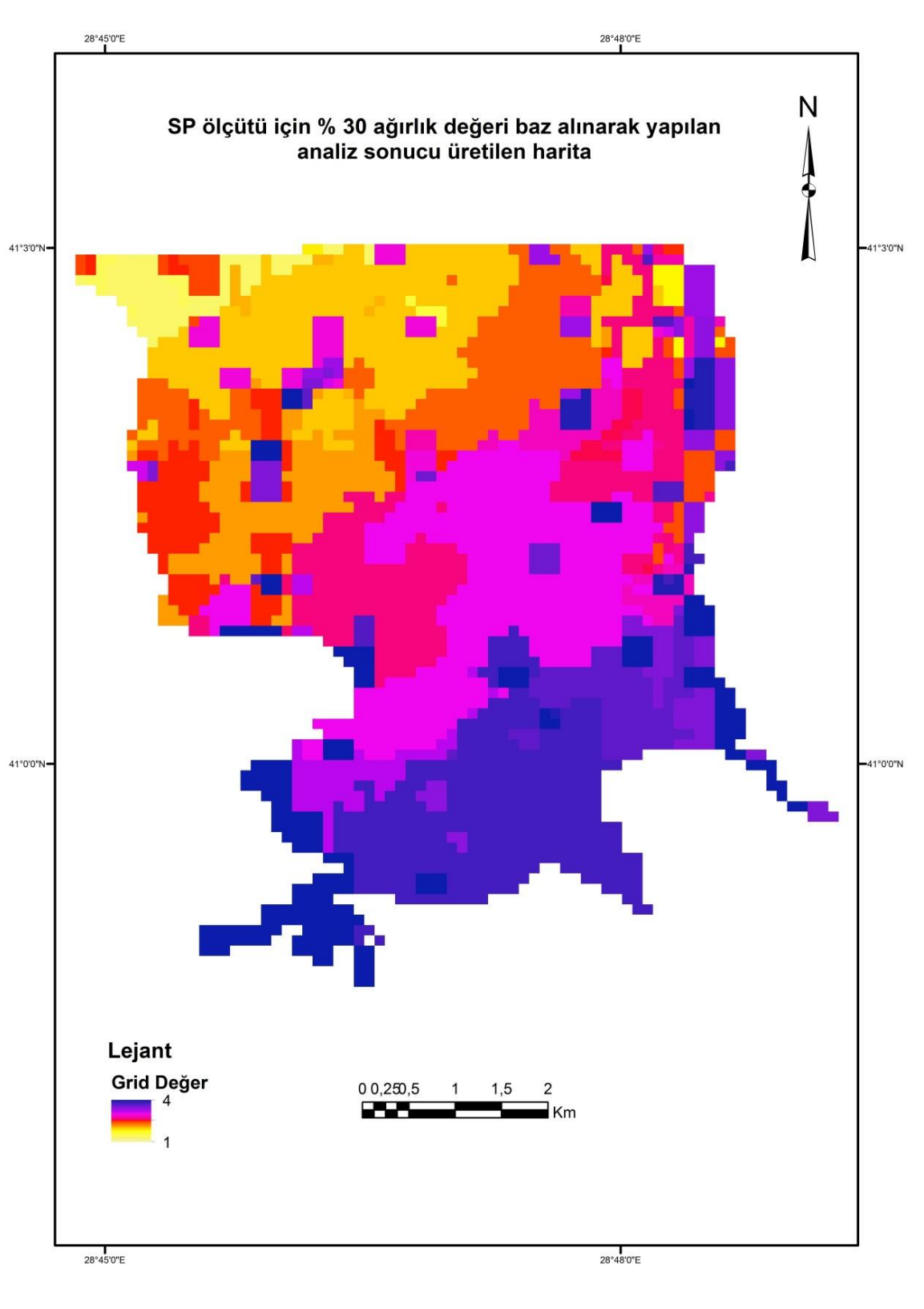
Şekil B.22 : SP Ölçütü için % 0 ağırlık değeri baz alınarak yapılan analiz sonucu üretilen harita



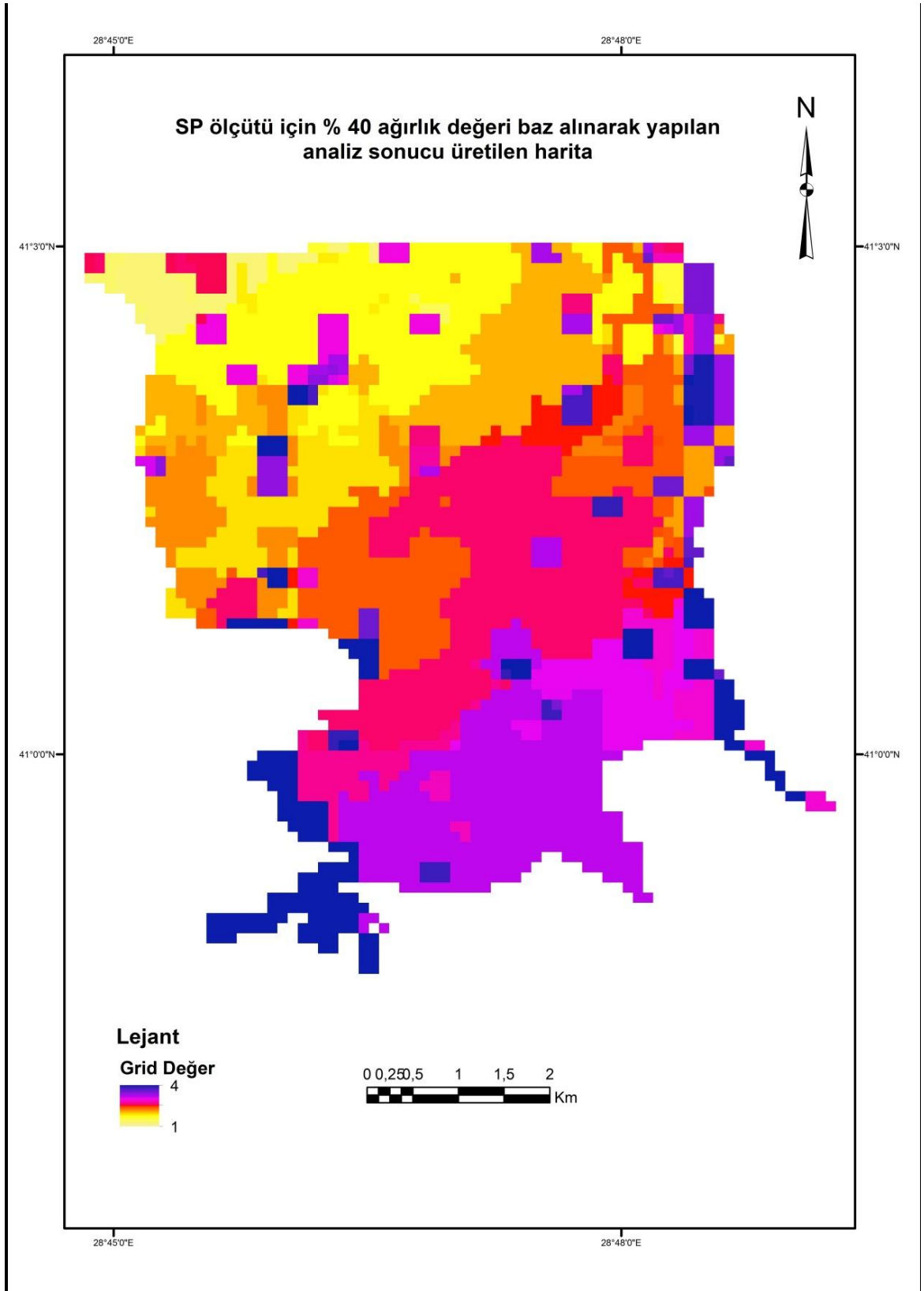
Şekil B.23 : SP Ölçütü için % 10 ağırlık değeri baz alınarak yapılan analiz sonucu üretilen harita



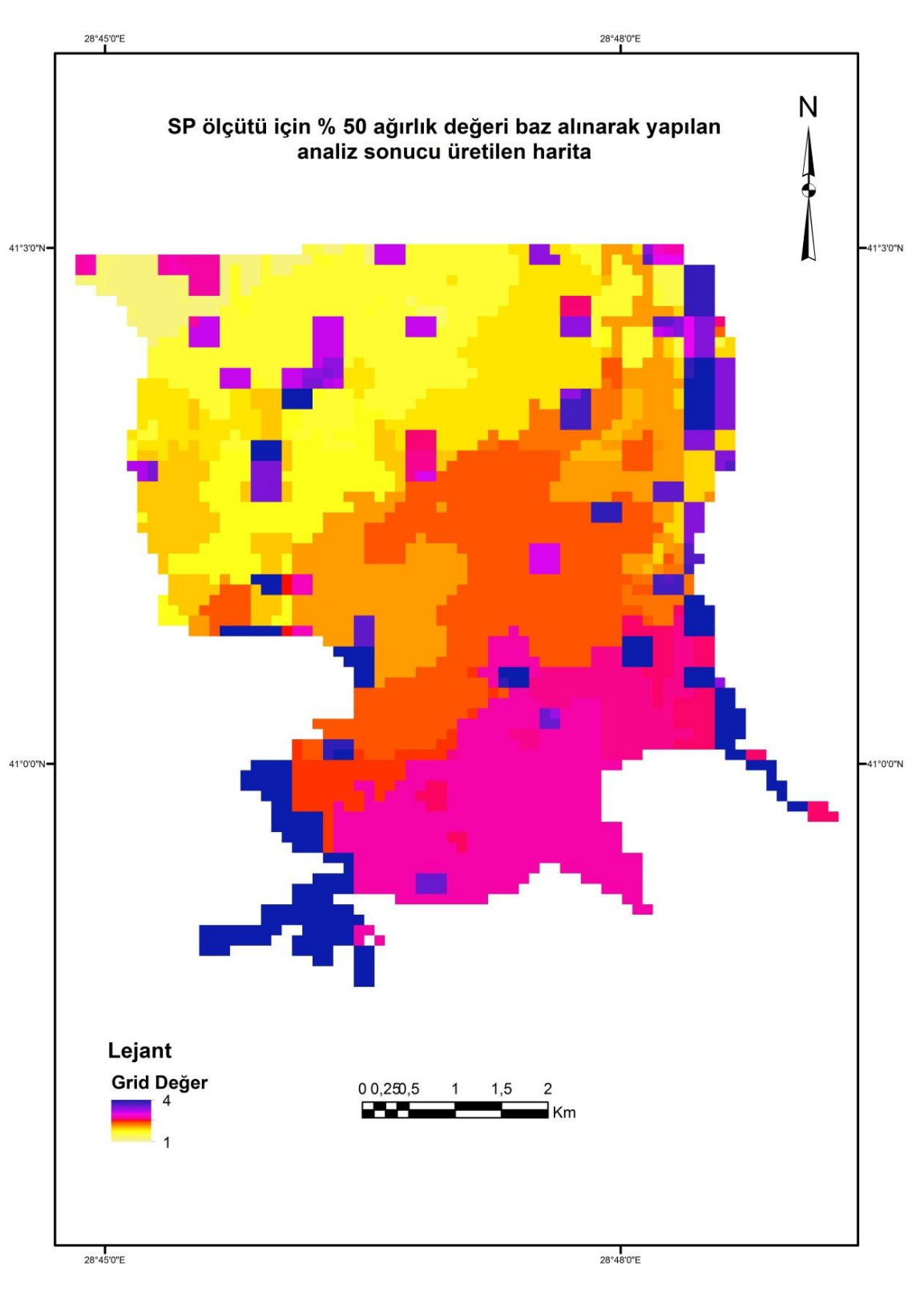
Şekil B.24 : SP Ölçütü için % 20 ağırlık değeri baz alınarak yapılan analiz sonucu üretilen harita



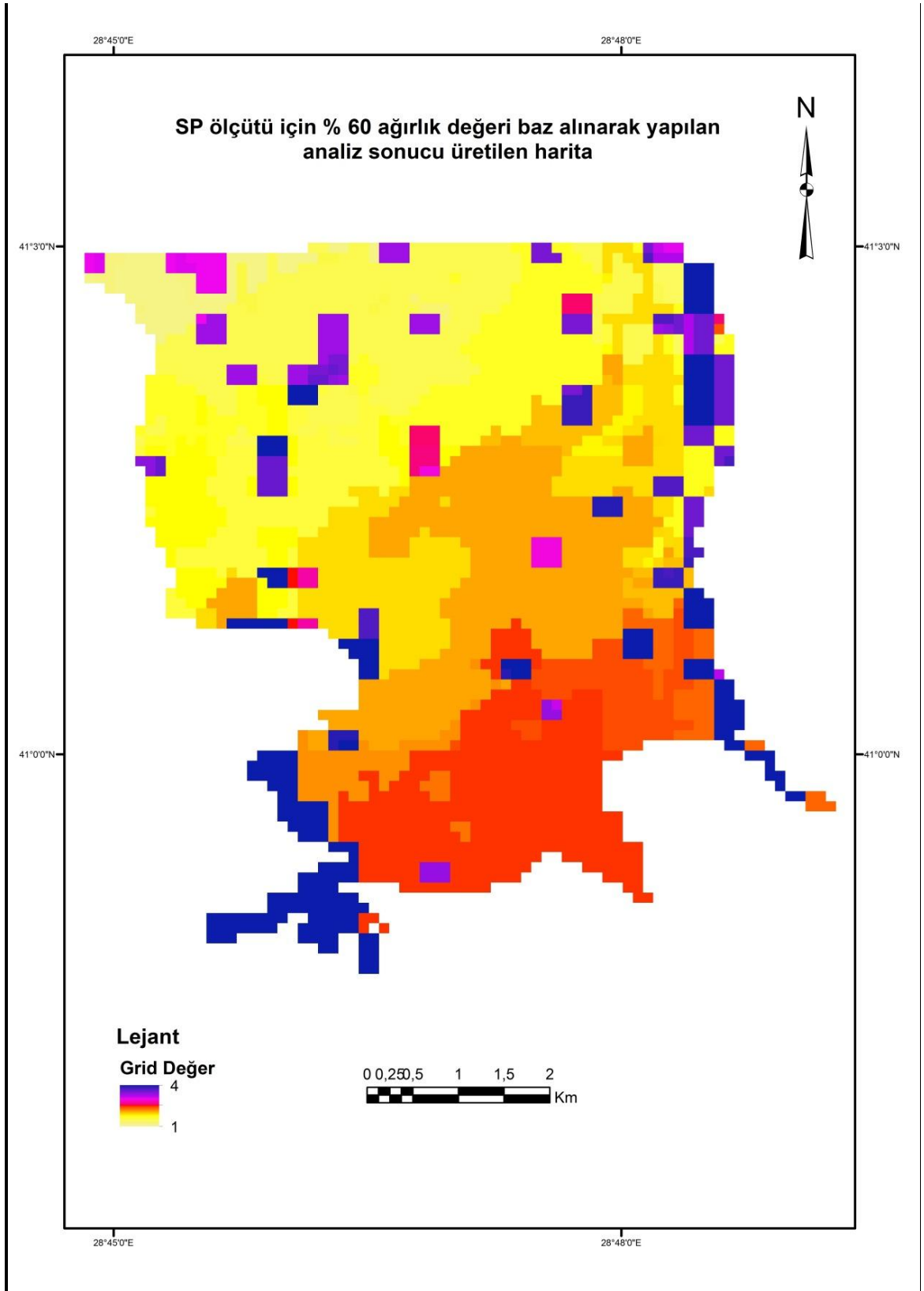
Şekil B.25 : SP Ölçütü için % 30 ağırlık değeri baz alınarak yapılan analiz sonucu üretilen harita



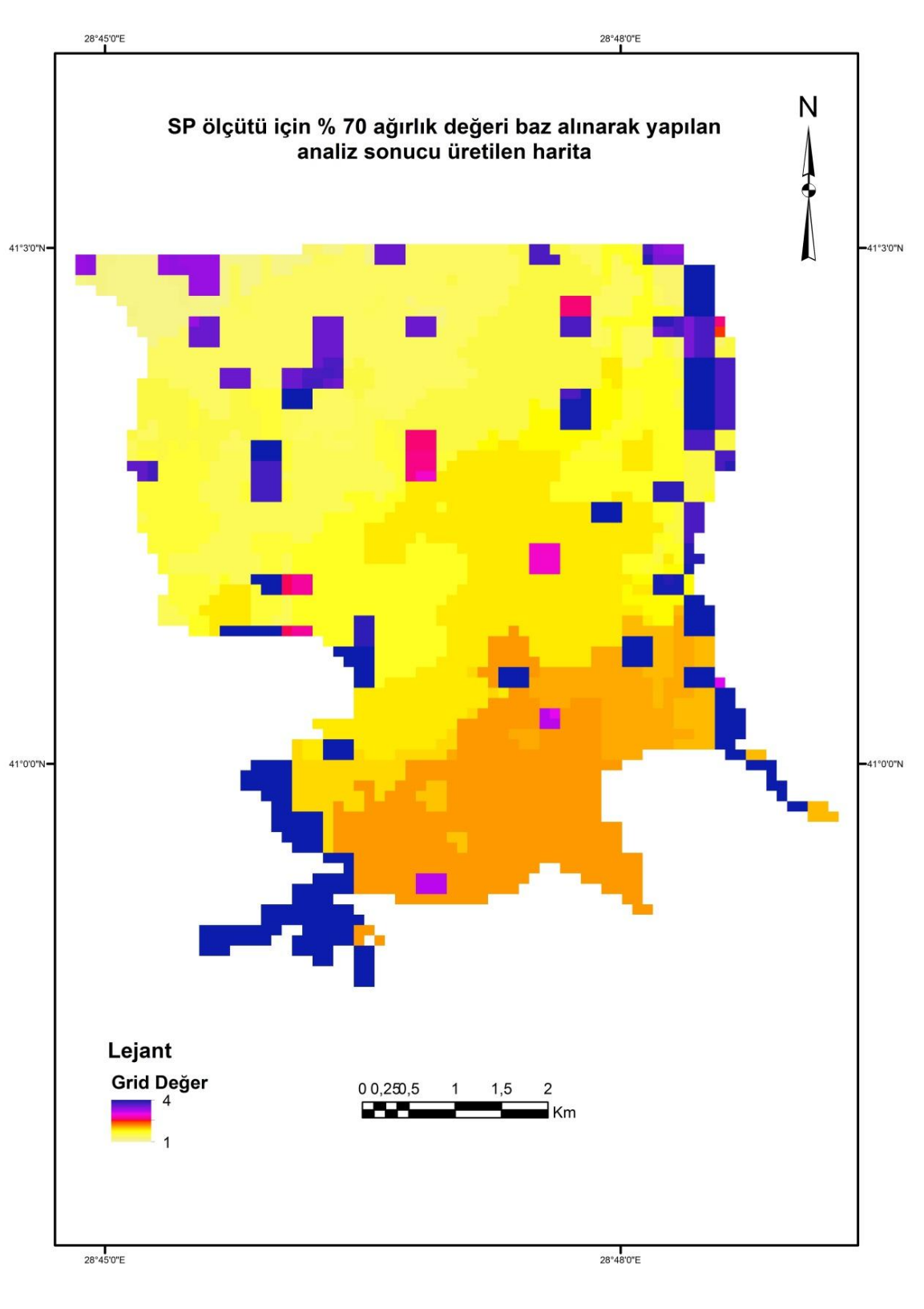
Şekil B.26 : SP Ölçütü için % 40 ağırlık değeri baz alınarak yapılan analiz sonucu üretilen harita



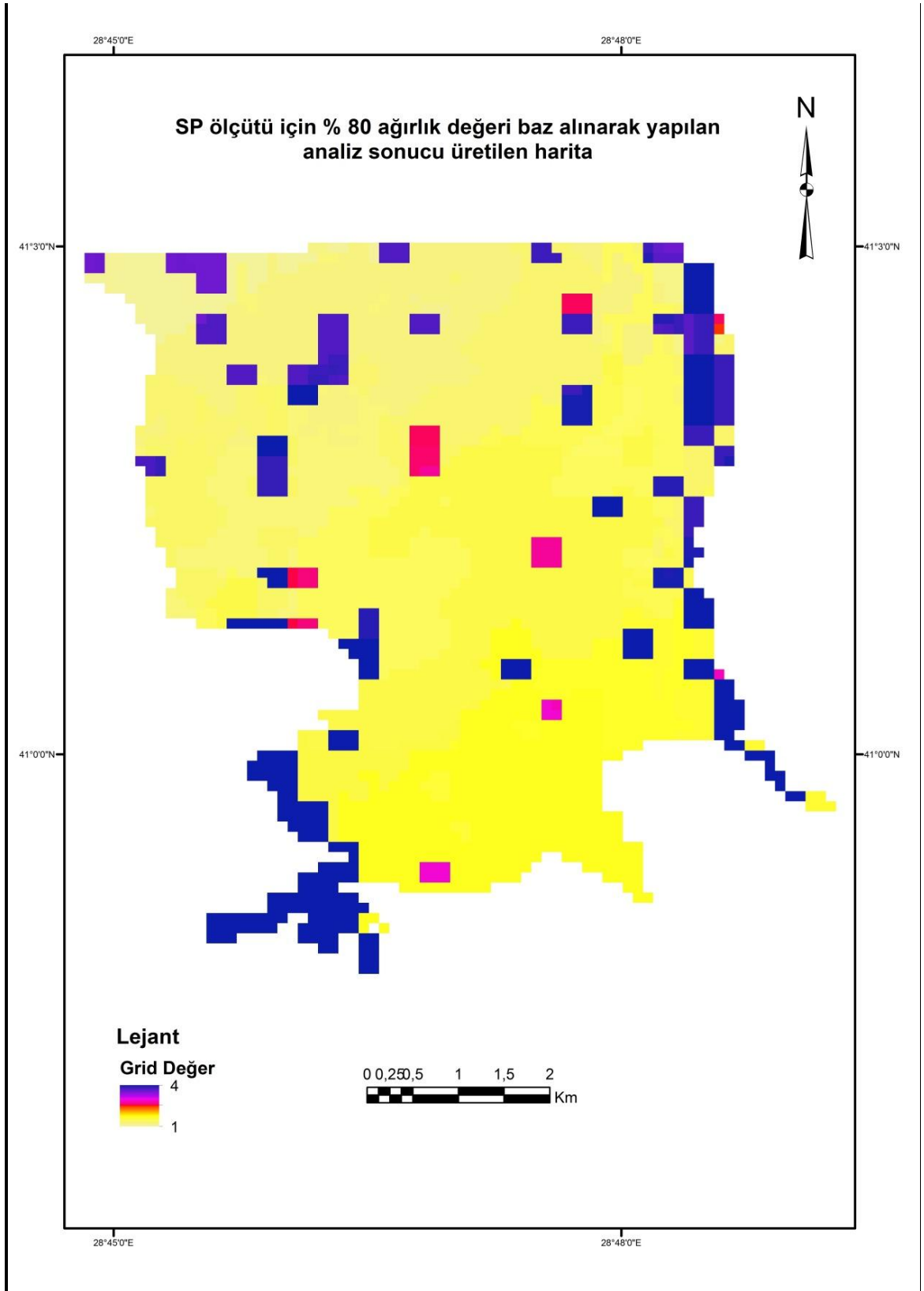
Şekil B.27 : SP Ölçütü için % 50 ağırlık değeri baz alınarak yapılan analiz sonucu üretilen harita



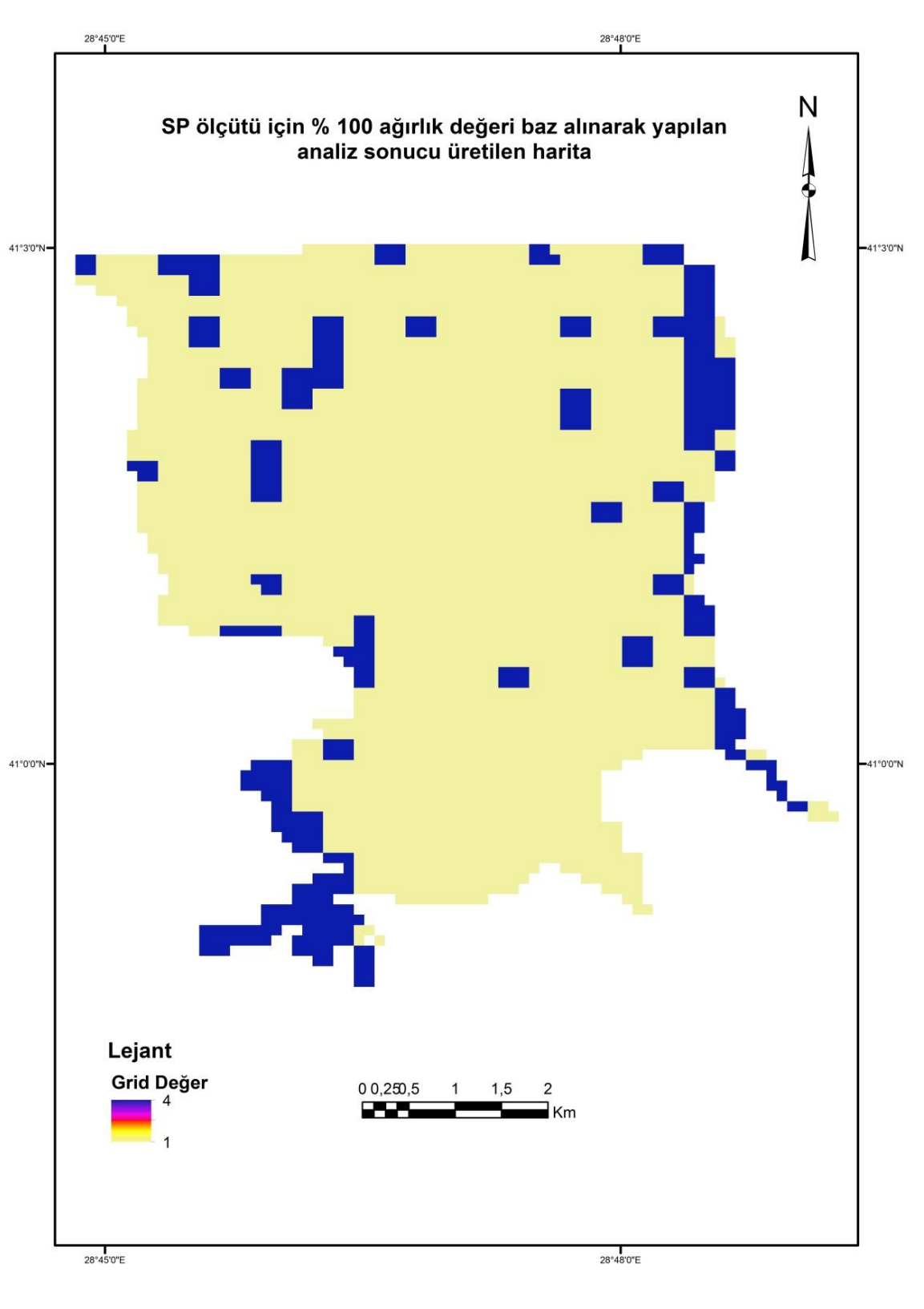
Şekil B.28 : SP Ölçütü için % 60 ağırlık değeri baz alınarak yapılan analiz sonucu üretilen harita



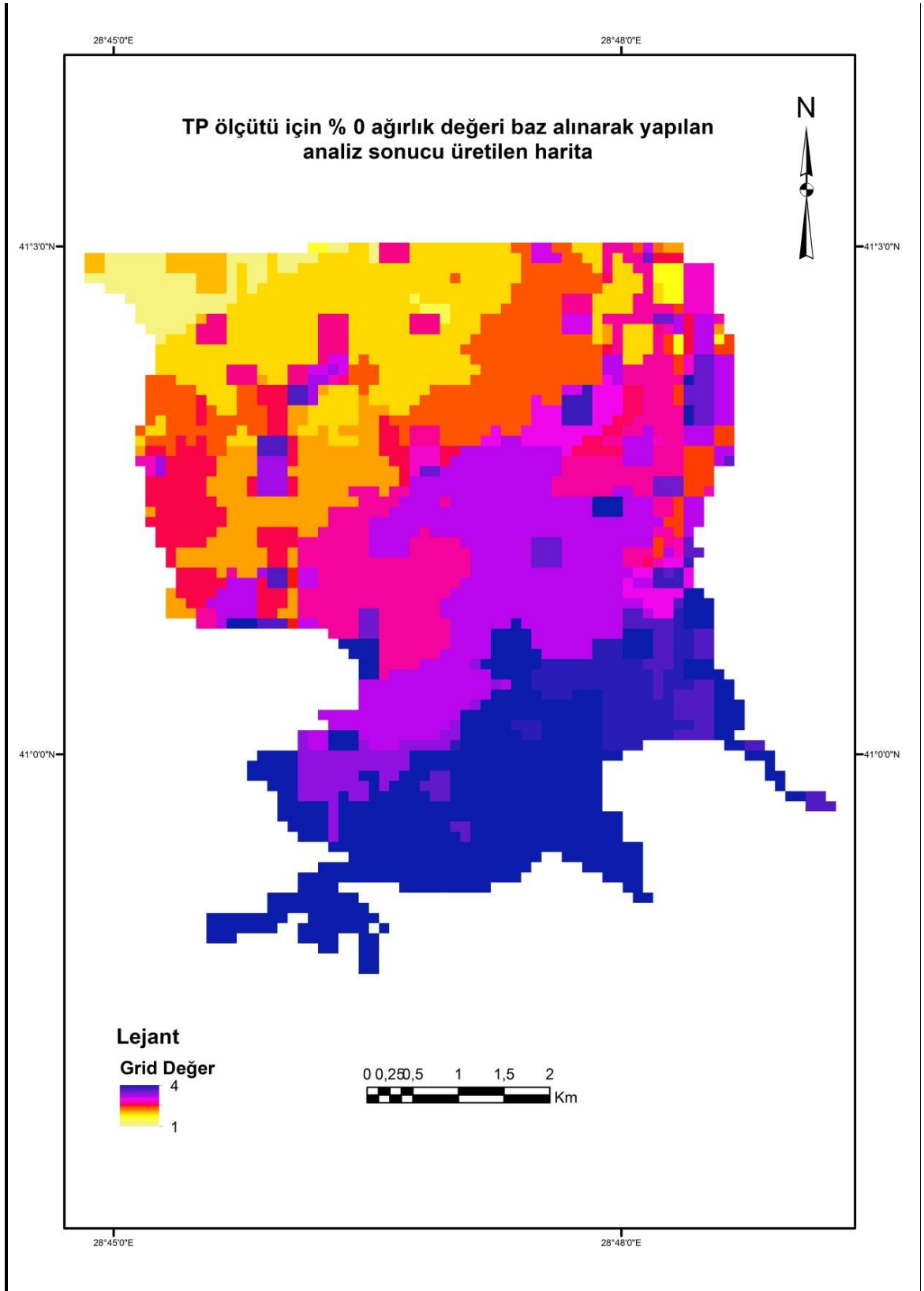
Şekil B.29 : SP Ölçütü için % 70 ağırlık değeri baz alınarak yapılan analiz sonucu üretilen harita



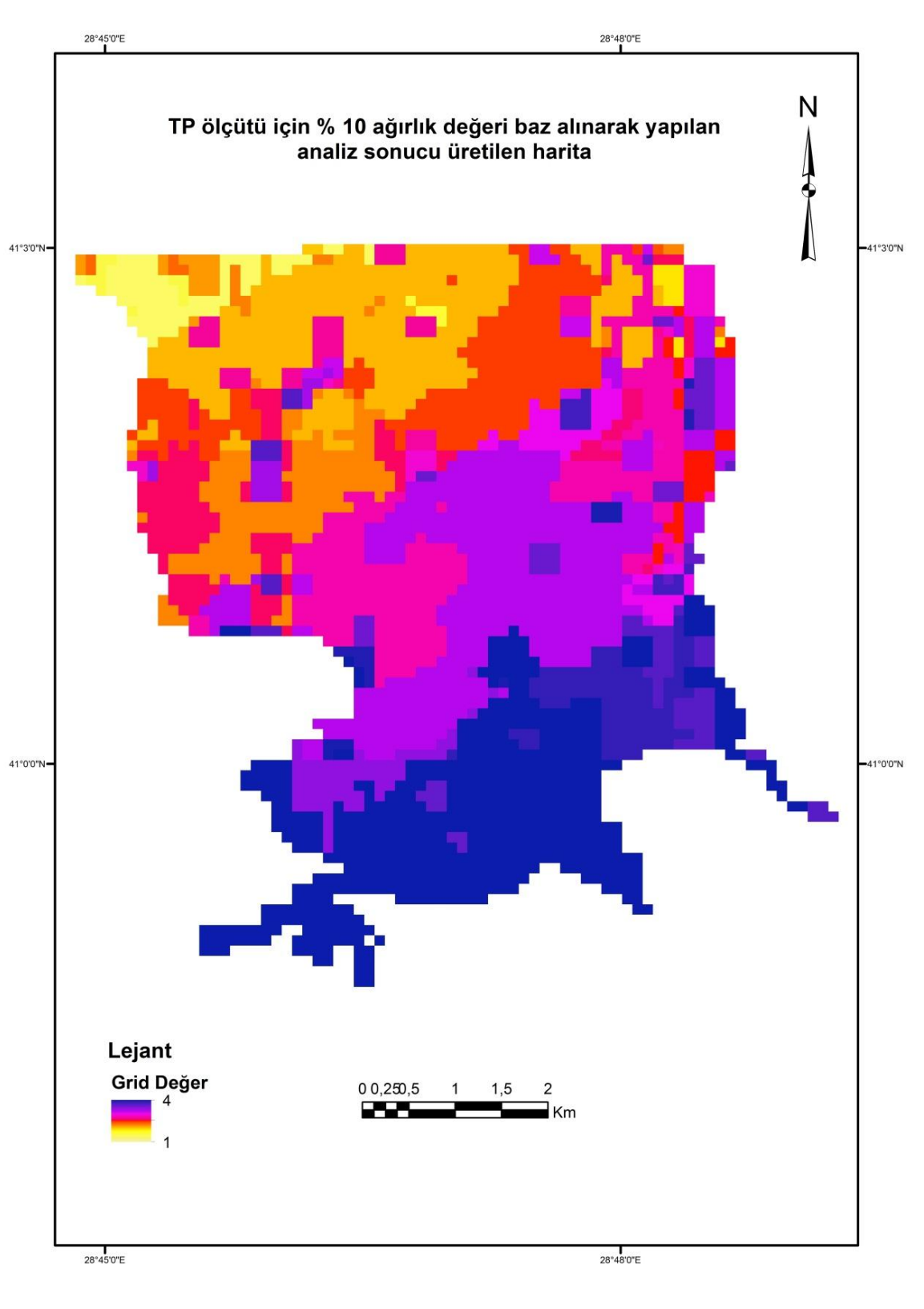
Şekil B.30 : SP Ölçütü için % 80 ağırlık değeri baz alınarak yapılan analiz sonucu üretilen harita



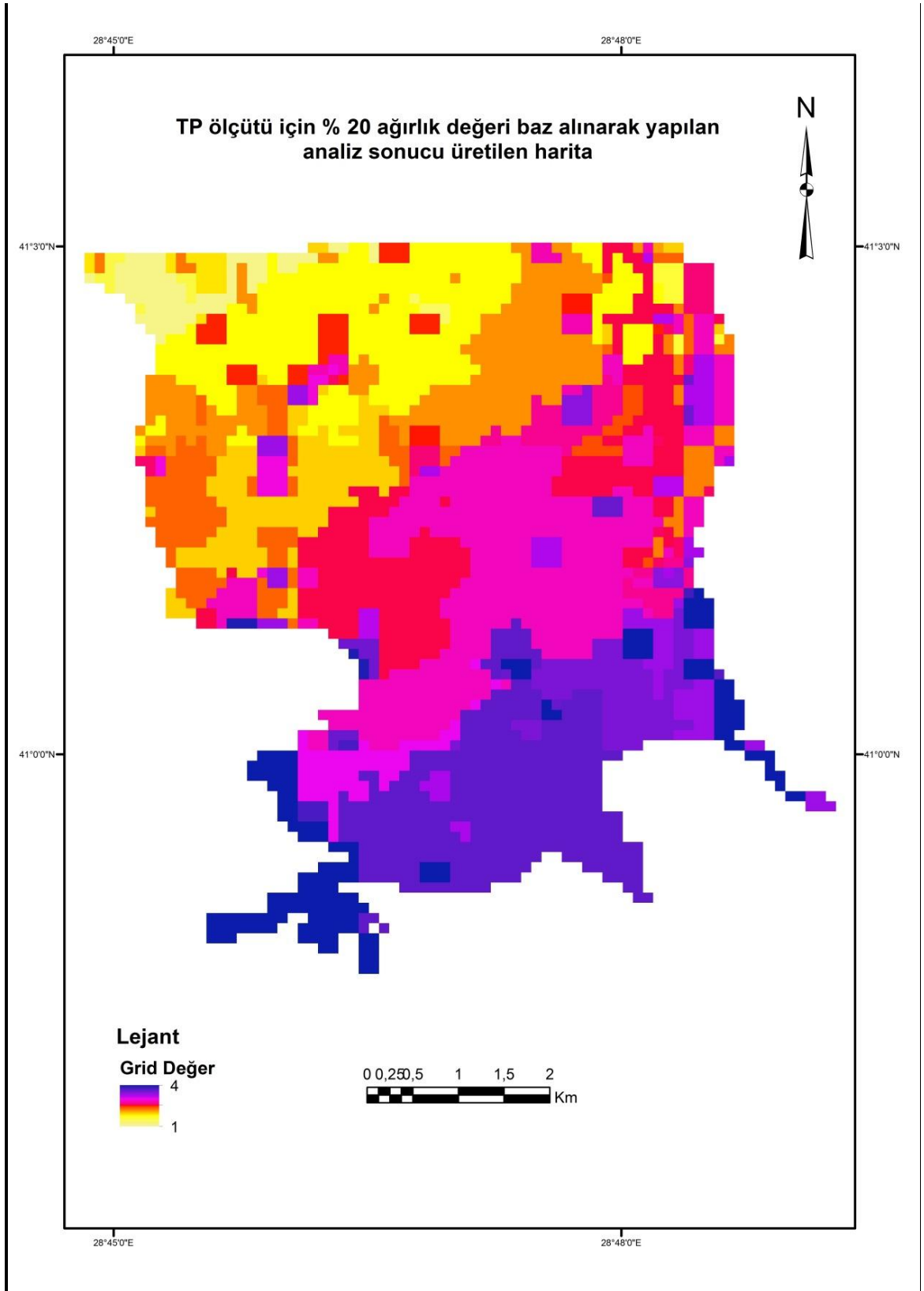
Şekil B.31 : SP Ölçütü için % 100 ağırlık değeri baz alınarak yapılan analiz sonucu üretilen harita



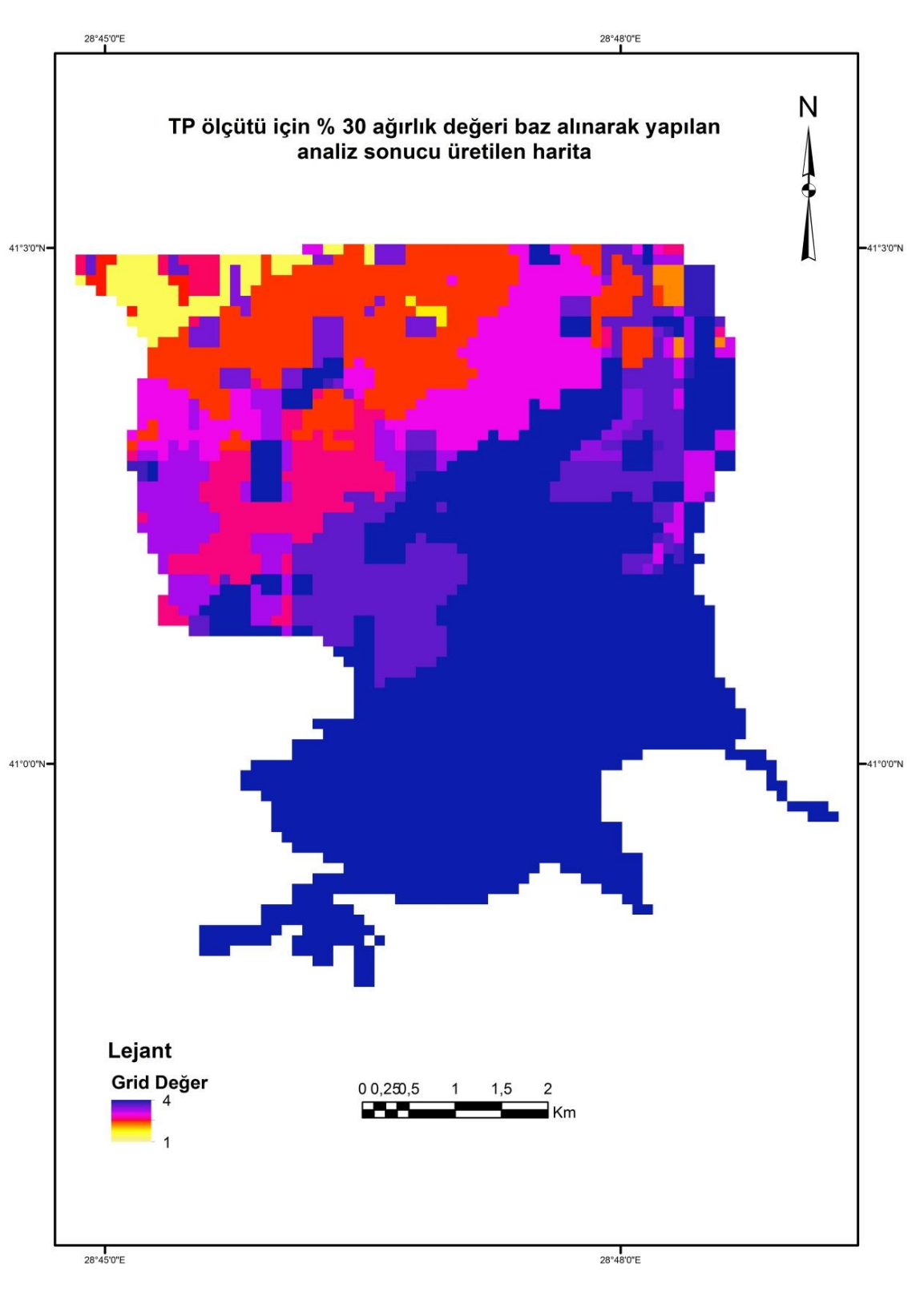
Şekil B.32 : TP Ölçütü için % 0 ağırlık değeri baz alınarak yapılan analiz sonucu üretilen harita



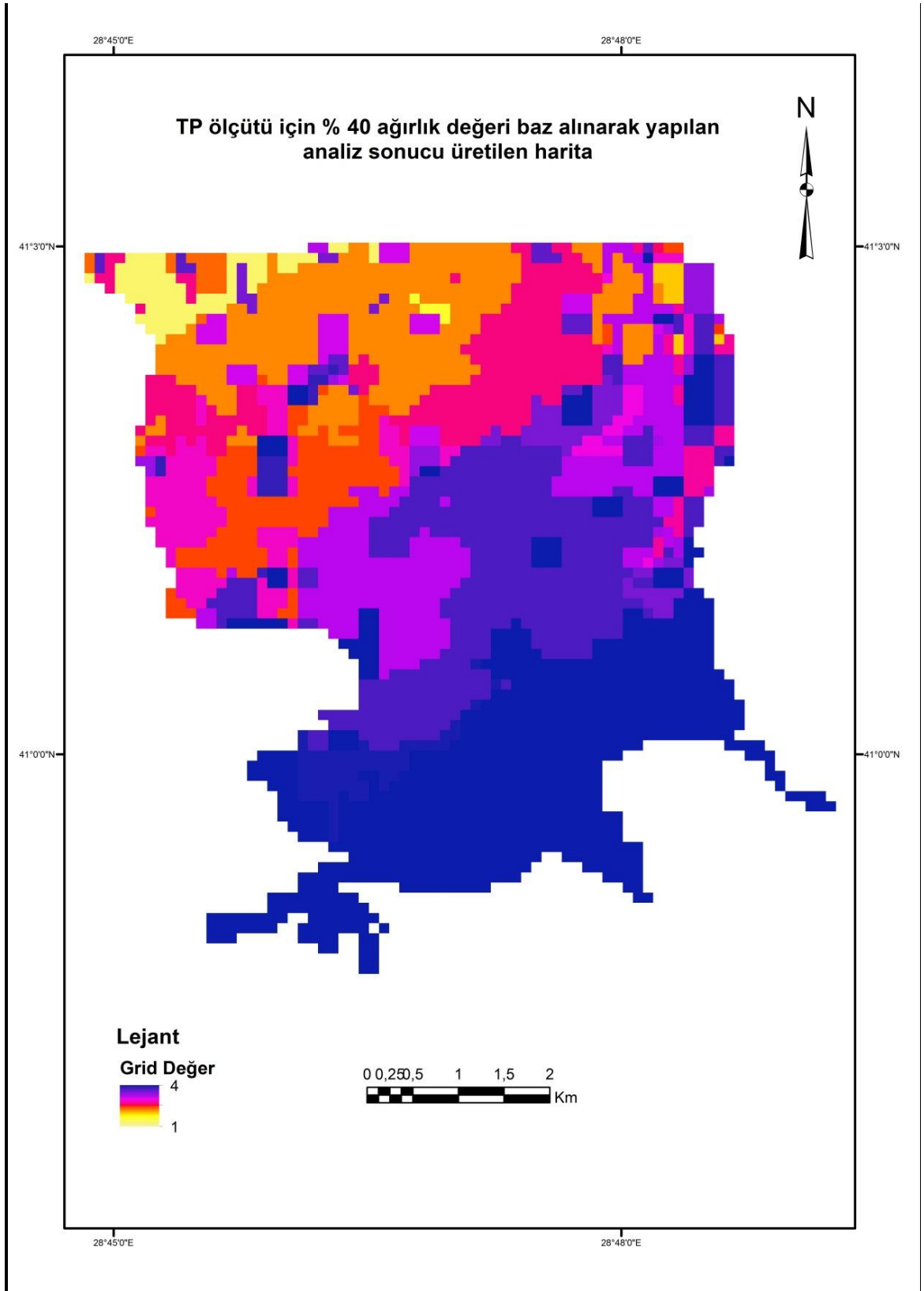
Şekil B.33 : TP Ölçütü için % 10 ağırlık değeri baz alınarak yapılan analiz sonucu üretilen harita



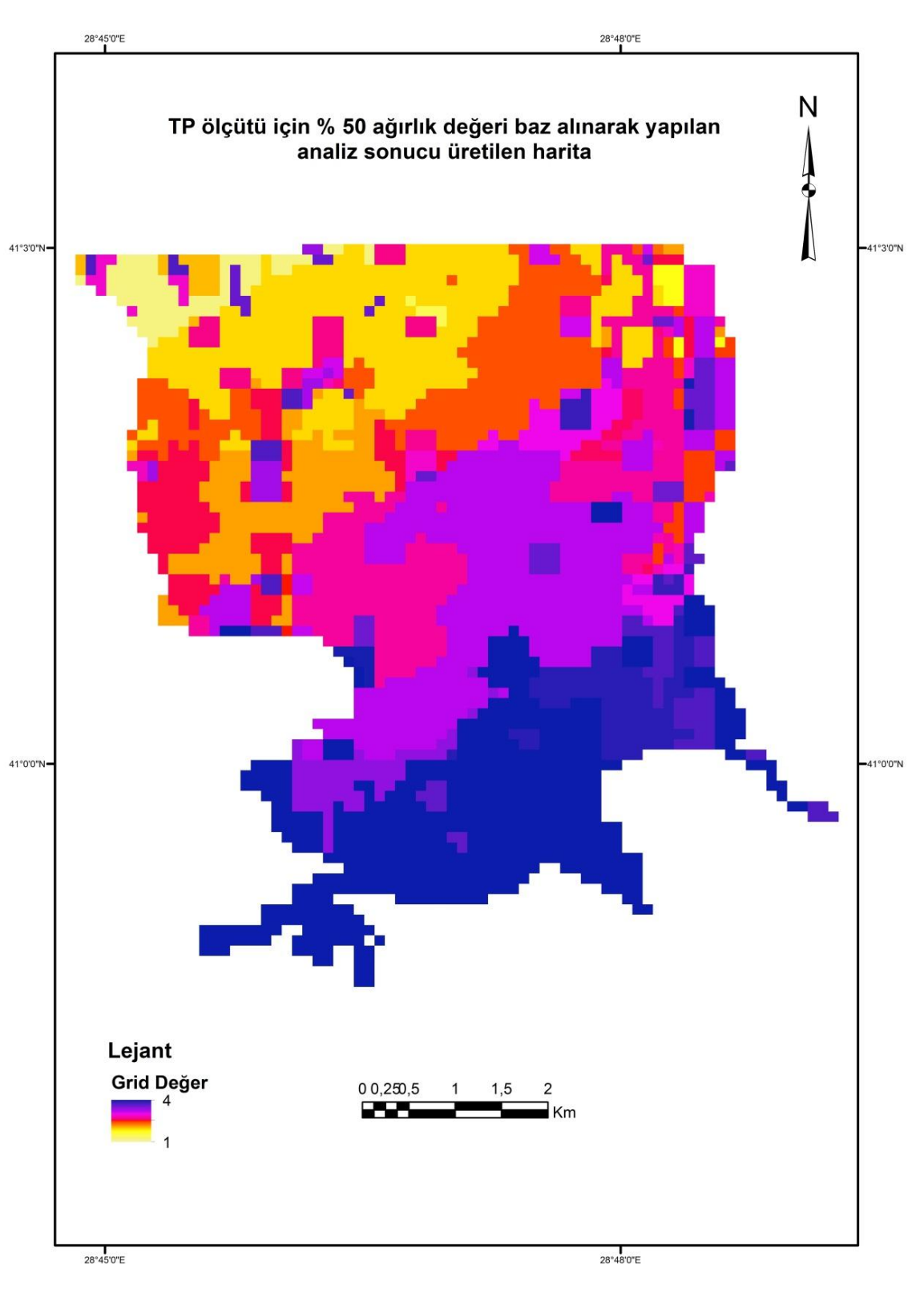
Şekil B.34 : TP Ölçütü için % 20 ağırlık değeri baz alınarak yapılan analiz sonucu üretilen harita



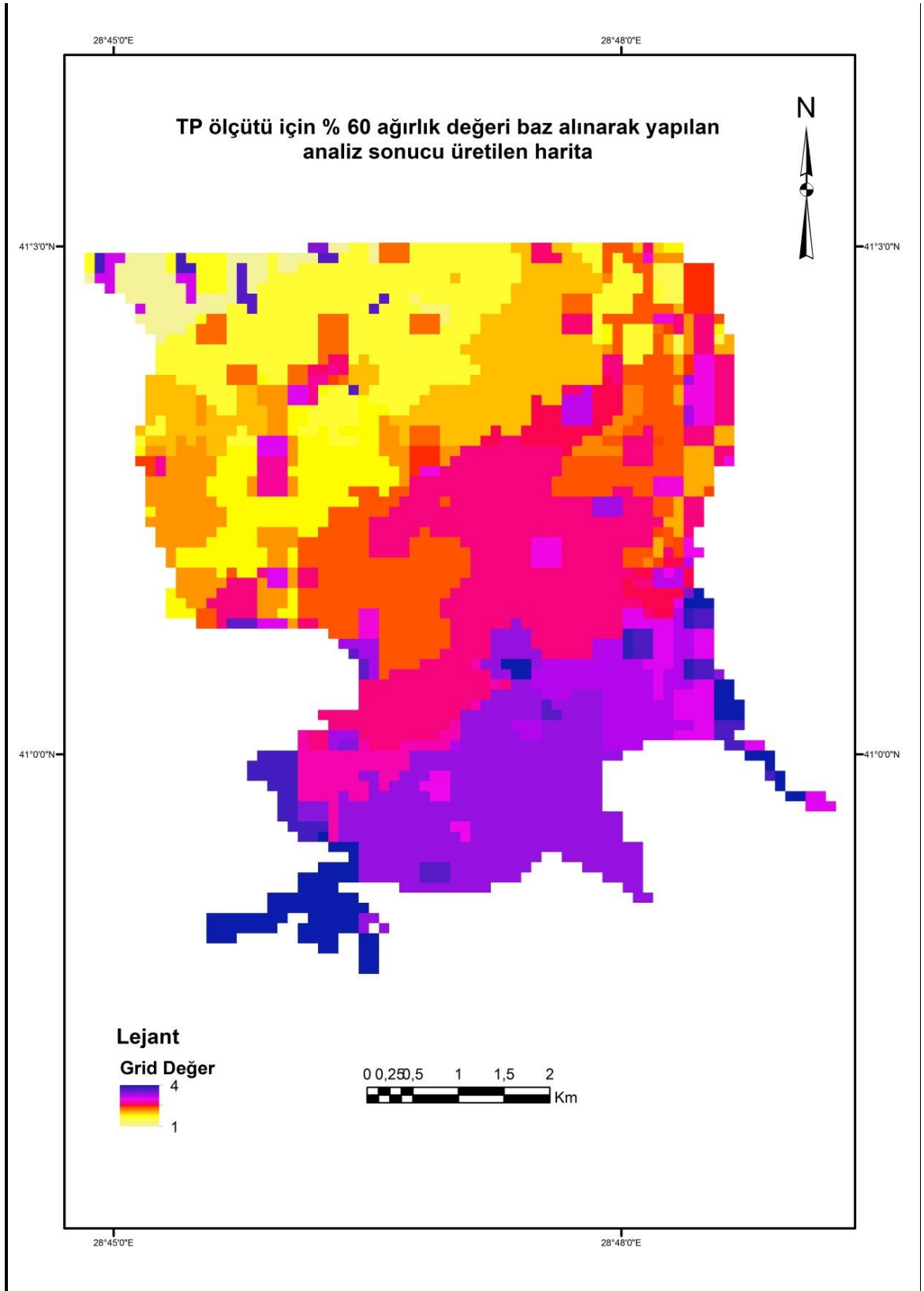
Şekil B.35 : TP Ölçütü için % 30 ağırlık değeri baz alınarak yapılan analiz sonucu üretilen harita



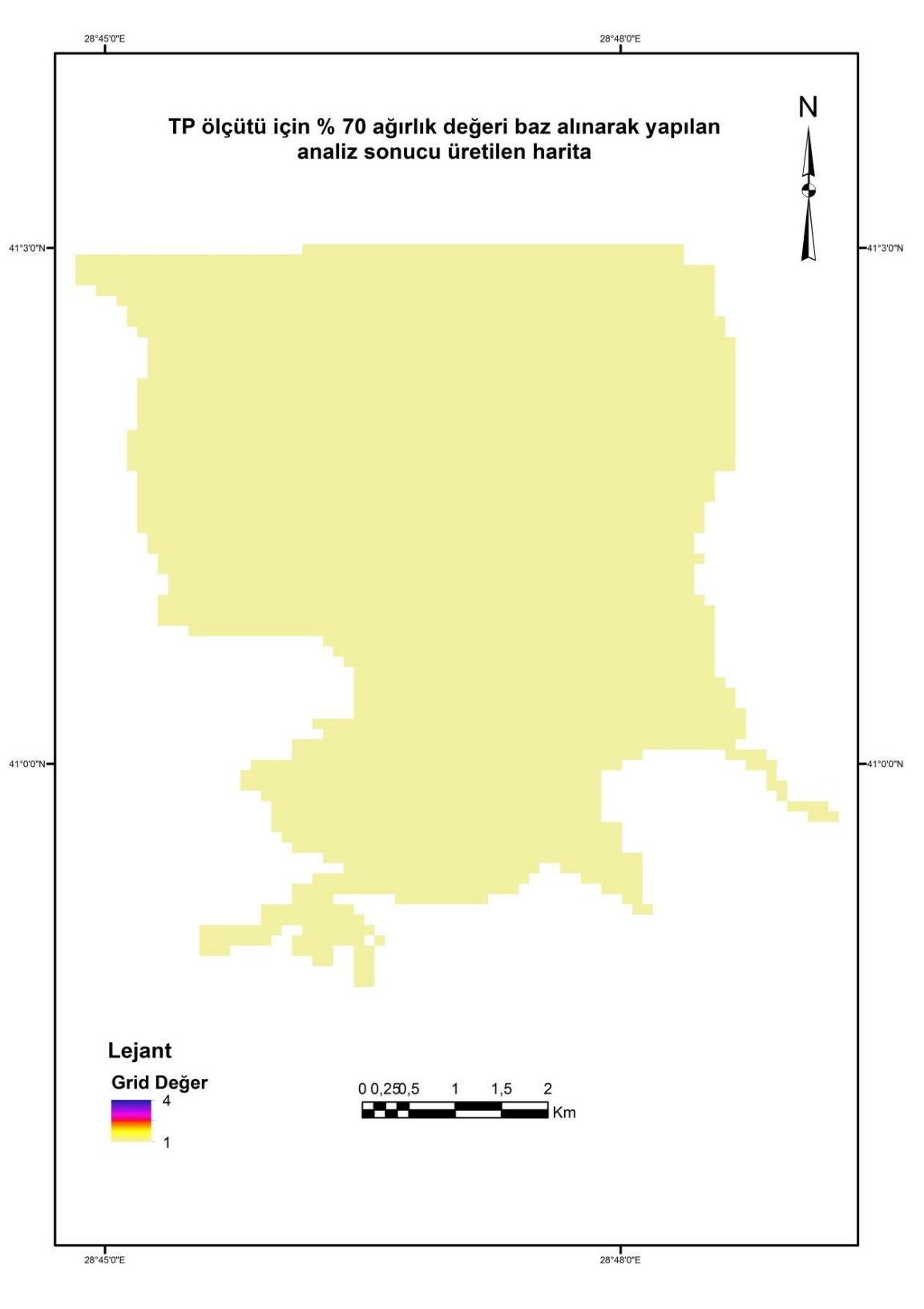
Şekil B.36 : TP Ölçütü için % 40 ağırlık değeri baz alınarak yapılan analiz sonucu üretilen harita



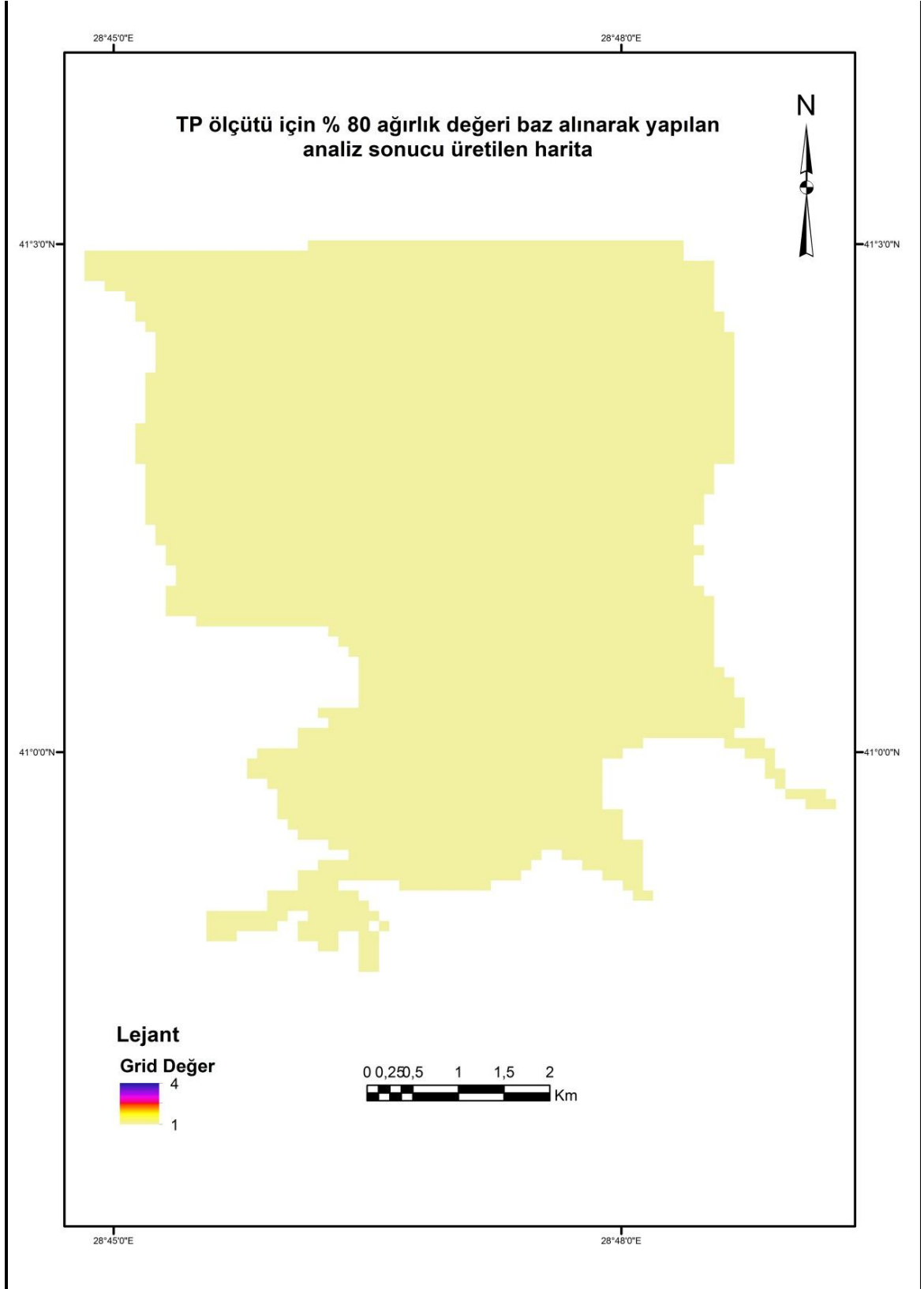
Şekil B.37 : TP Ölçütü için % 50 ağırlık değeri baz alınarak yapılan analiz sonucu üretilen harita



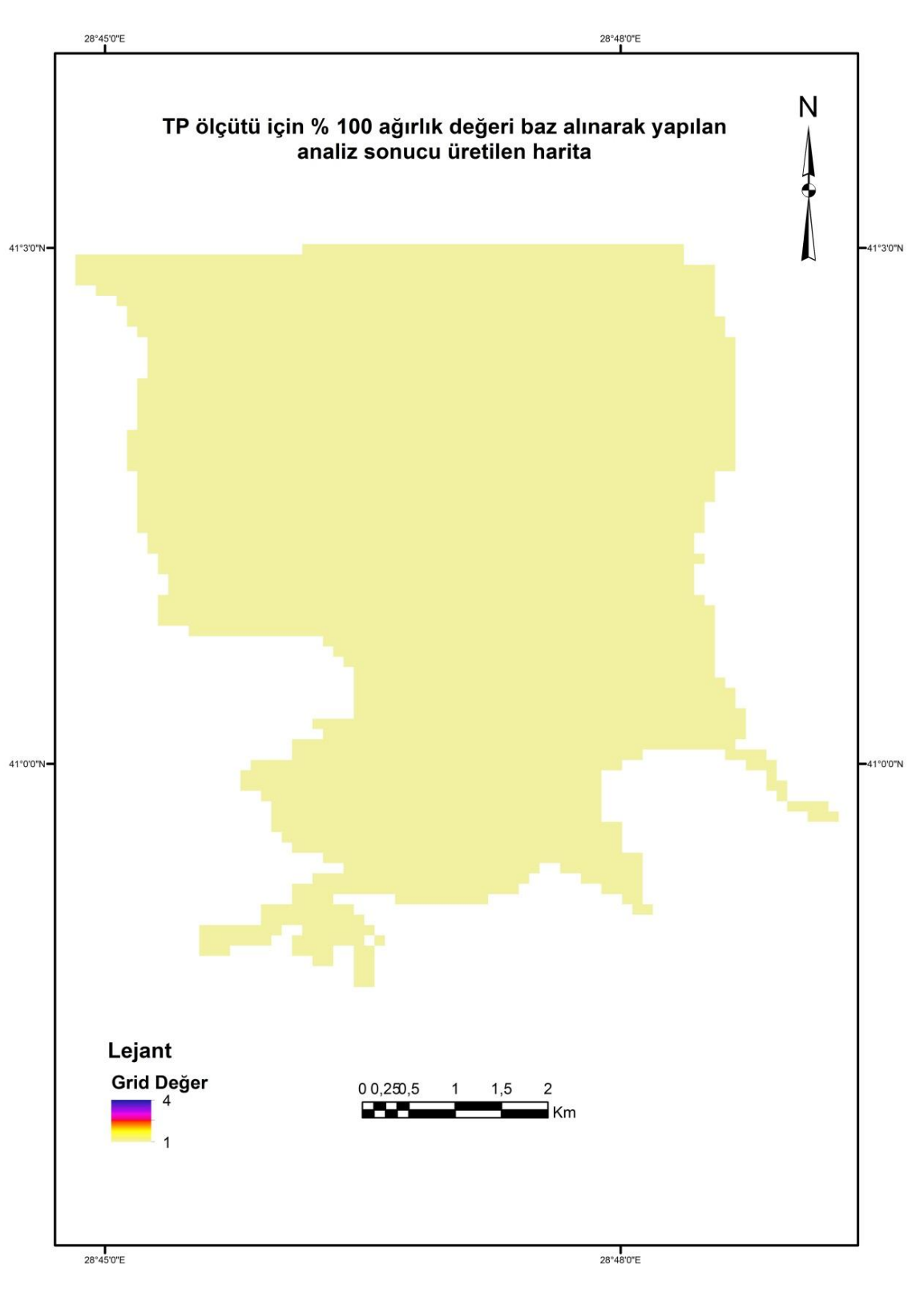
Şekil B.38 : TP Ölçütü için % 60 ağırlık değeri baz alınarak yapılan analiz sonucu üretilen harita



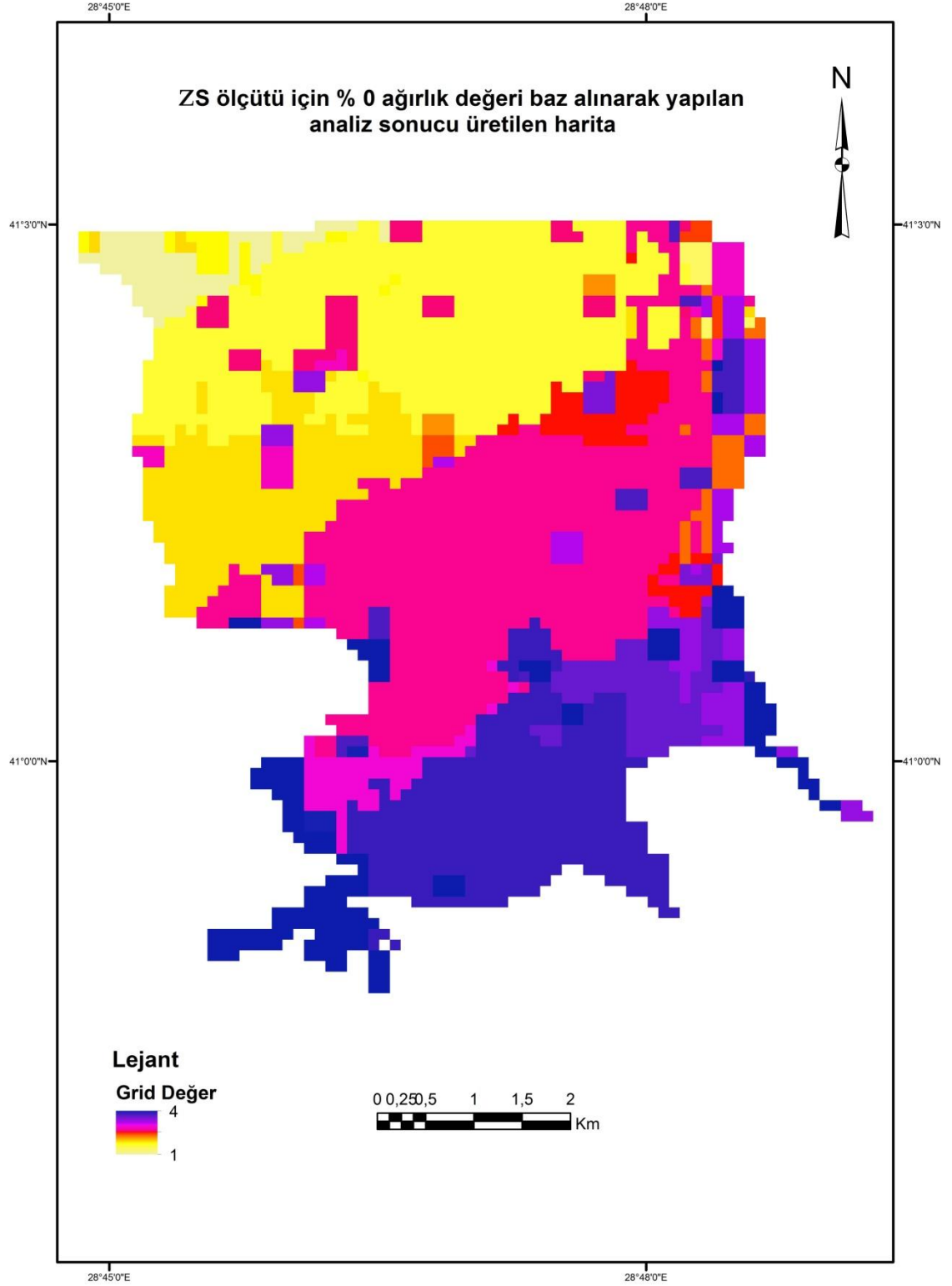
Şekil B.39 : TP Ölçütü için % 70 ağırlık değeri baz alınarak yapılan analiz sonucu üretilen harita



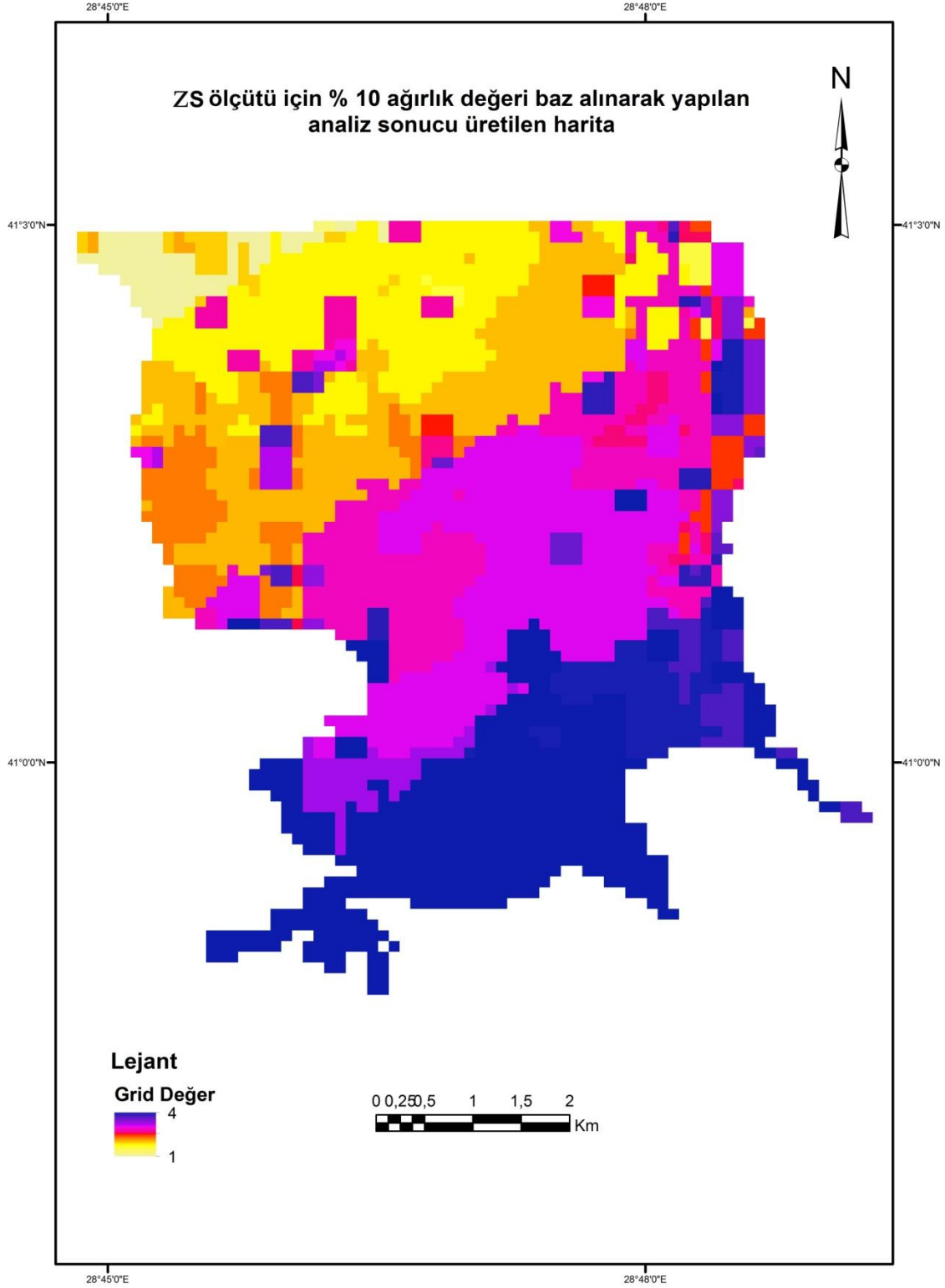
Şekil B.40 : TP Ölçütü için % 80 ağırlık değeri baz alınarak yapılan analiz sonucu üretilen harita



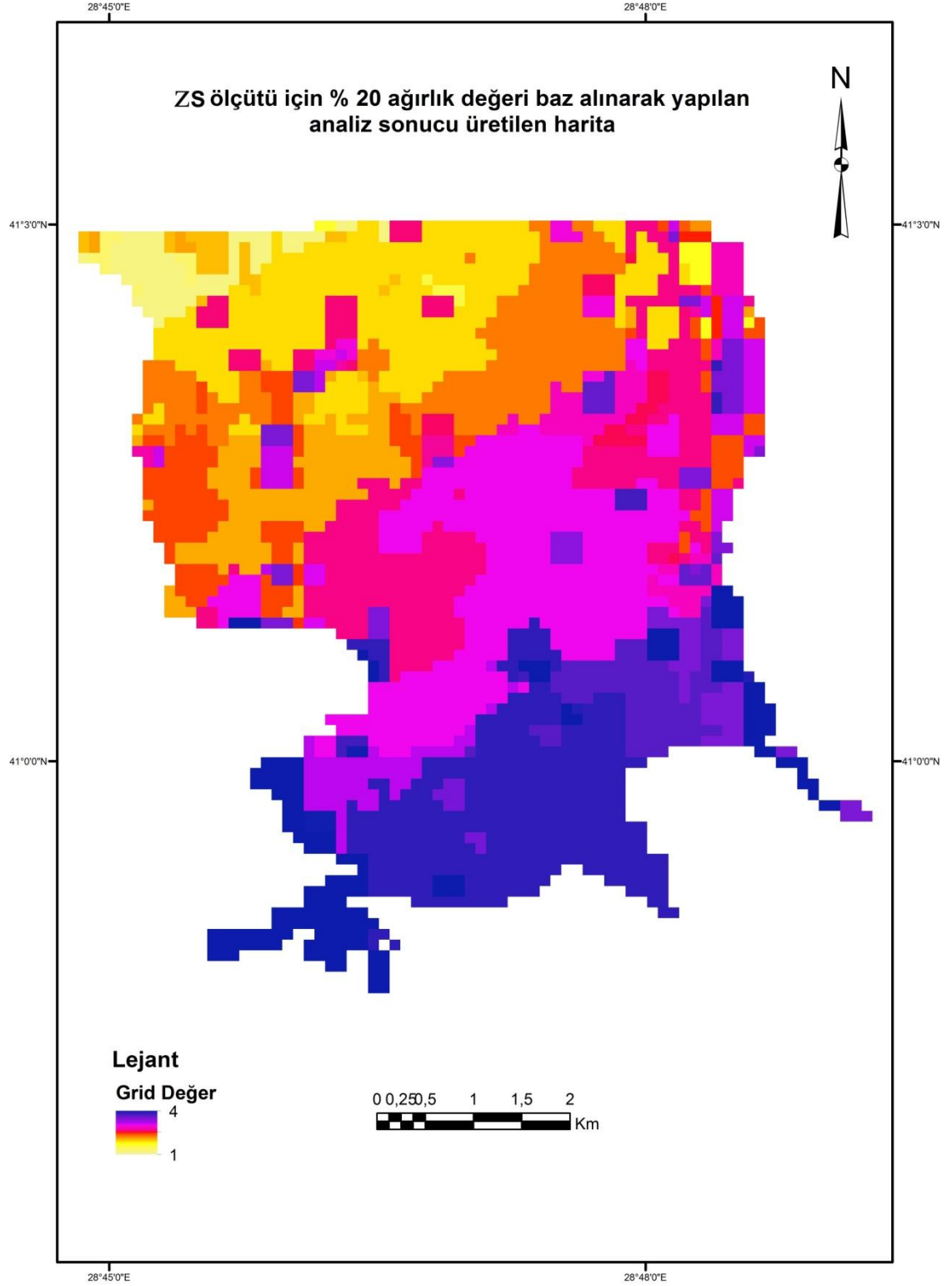
Şekil B.41 : TP Ölçütü için % 100 ağırlık değeri baz alınarak yapılan analiz sonucu üretilen harita



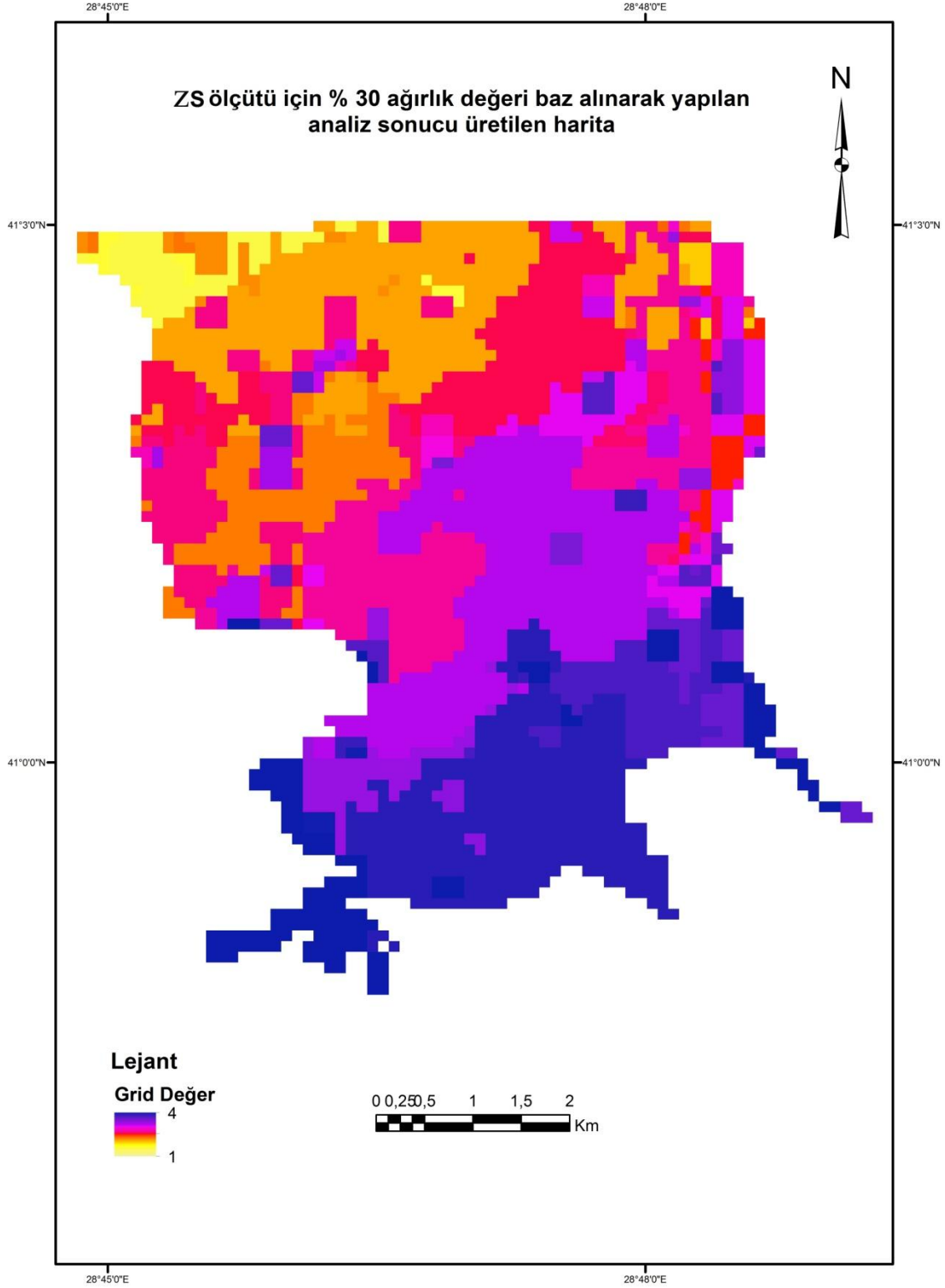
Şekil B.42 : ZS Ölçütü için % 0 ağırlık değeri baz alınarak yapılan analiz sonucu üretilen harita



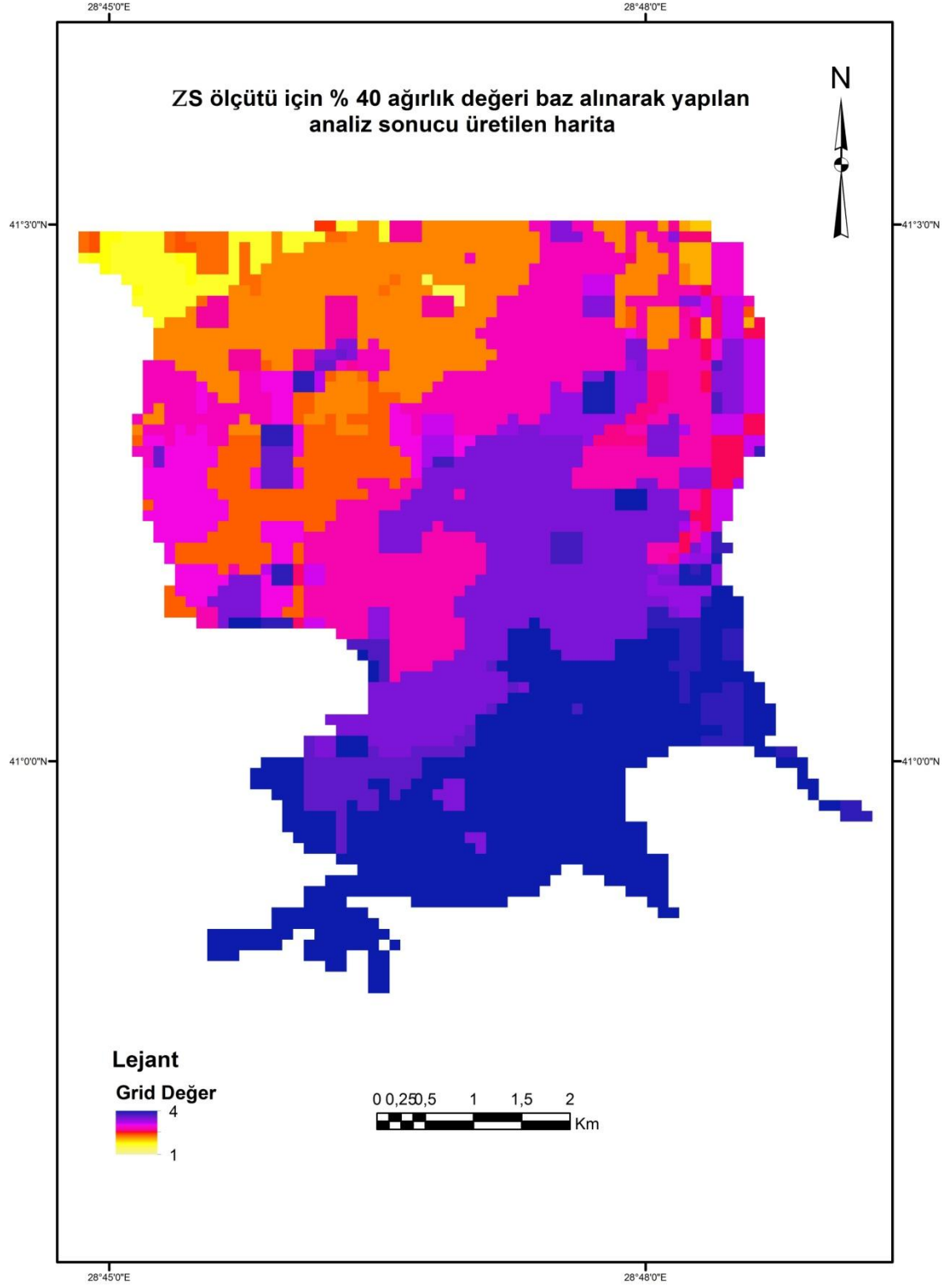
Şekil B.43 : ZS Ölçütü için % 10 ağırlık değeri baz alınarak yapılan analiz sonucu üretilen harita



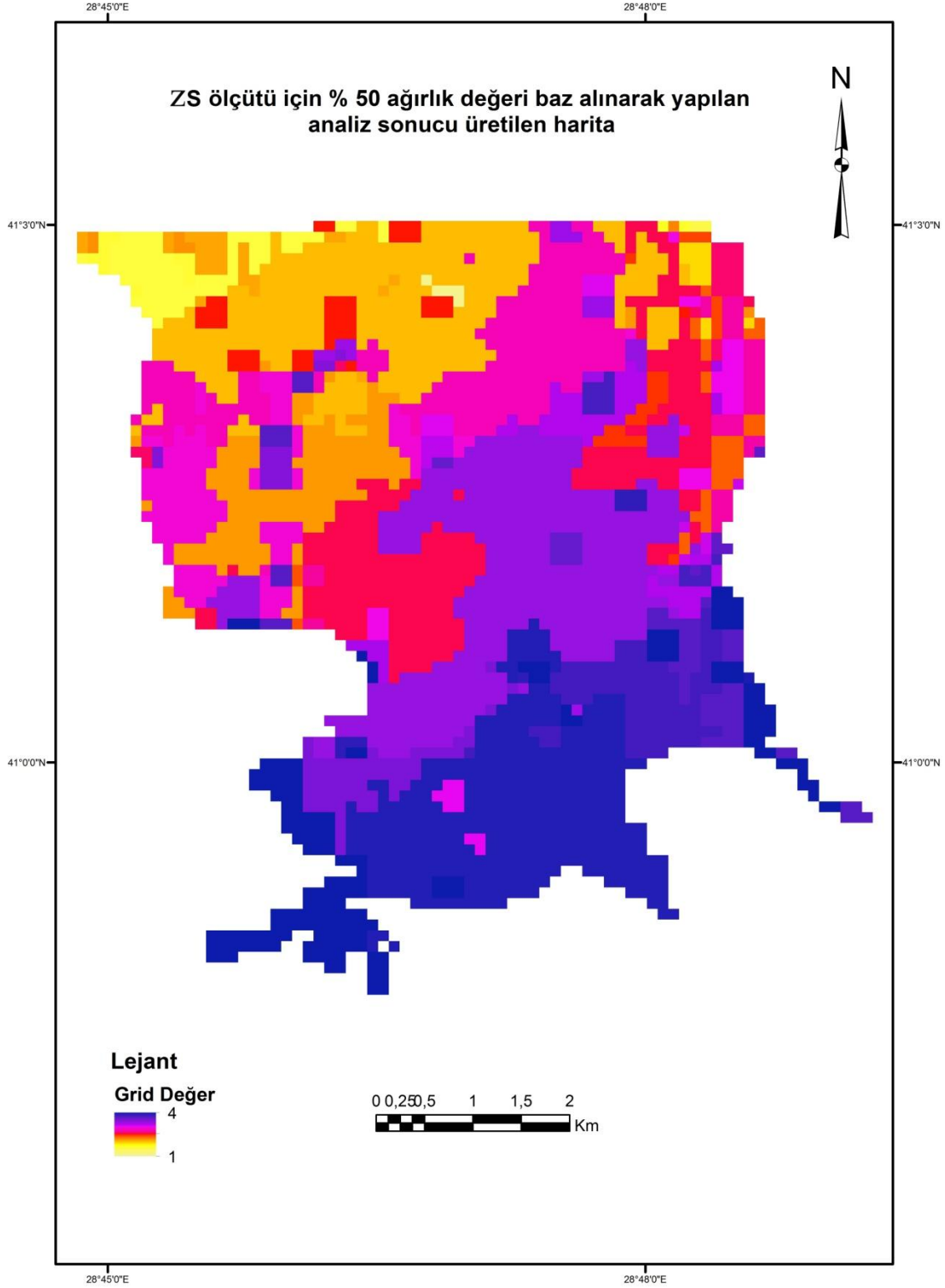
Şekil B.44 : ZS Ölçütü için % 20 ağırlık değeri baz alınarak yapılan analiz sonucu üretilen harita



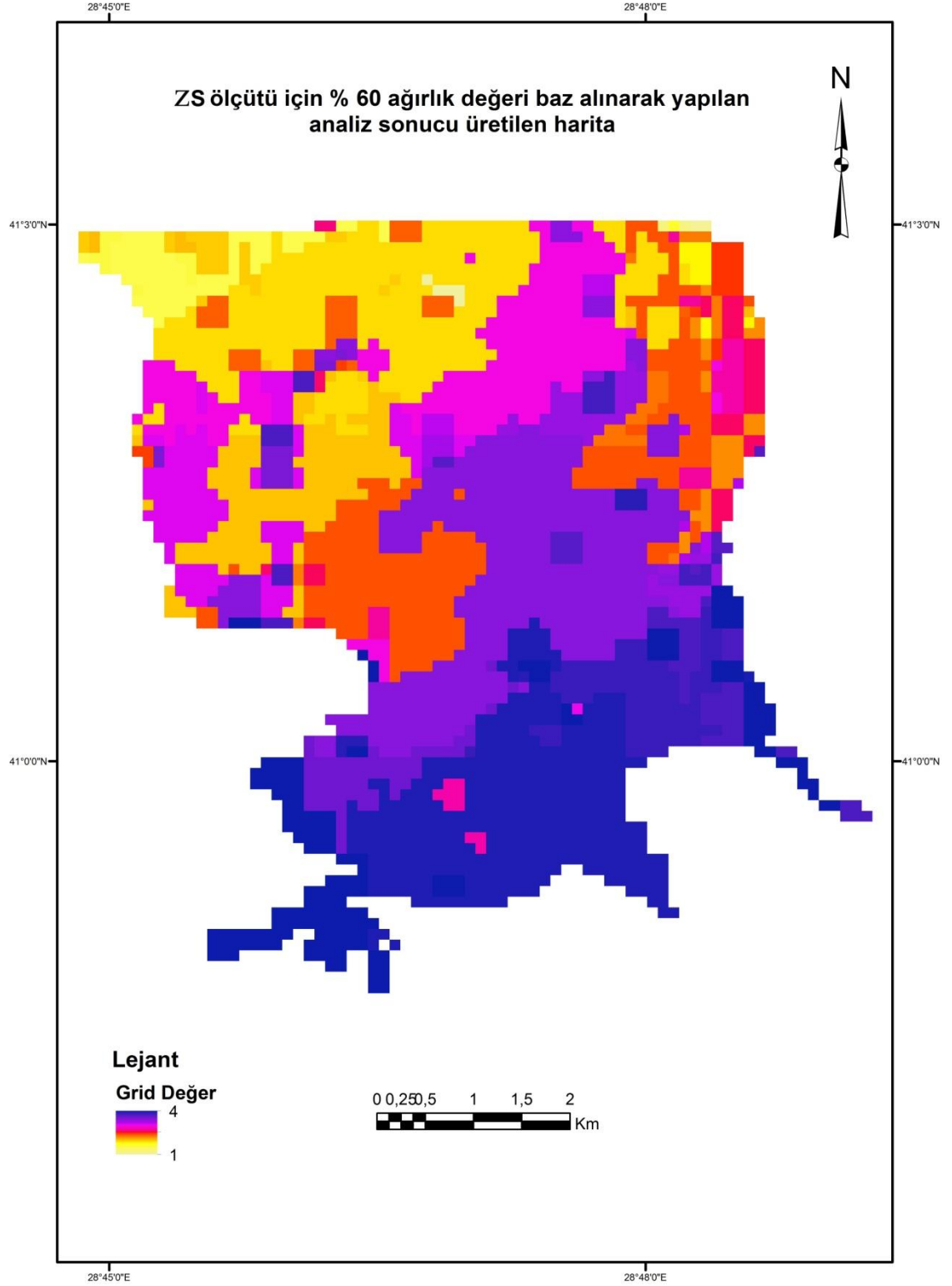
Şekil B.45 : ZS Ölçütü için % 30 ağırlık değeri baz alınarak yapılan analiz sonucu üretilen harita



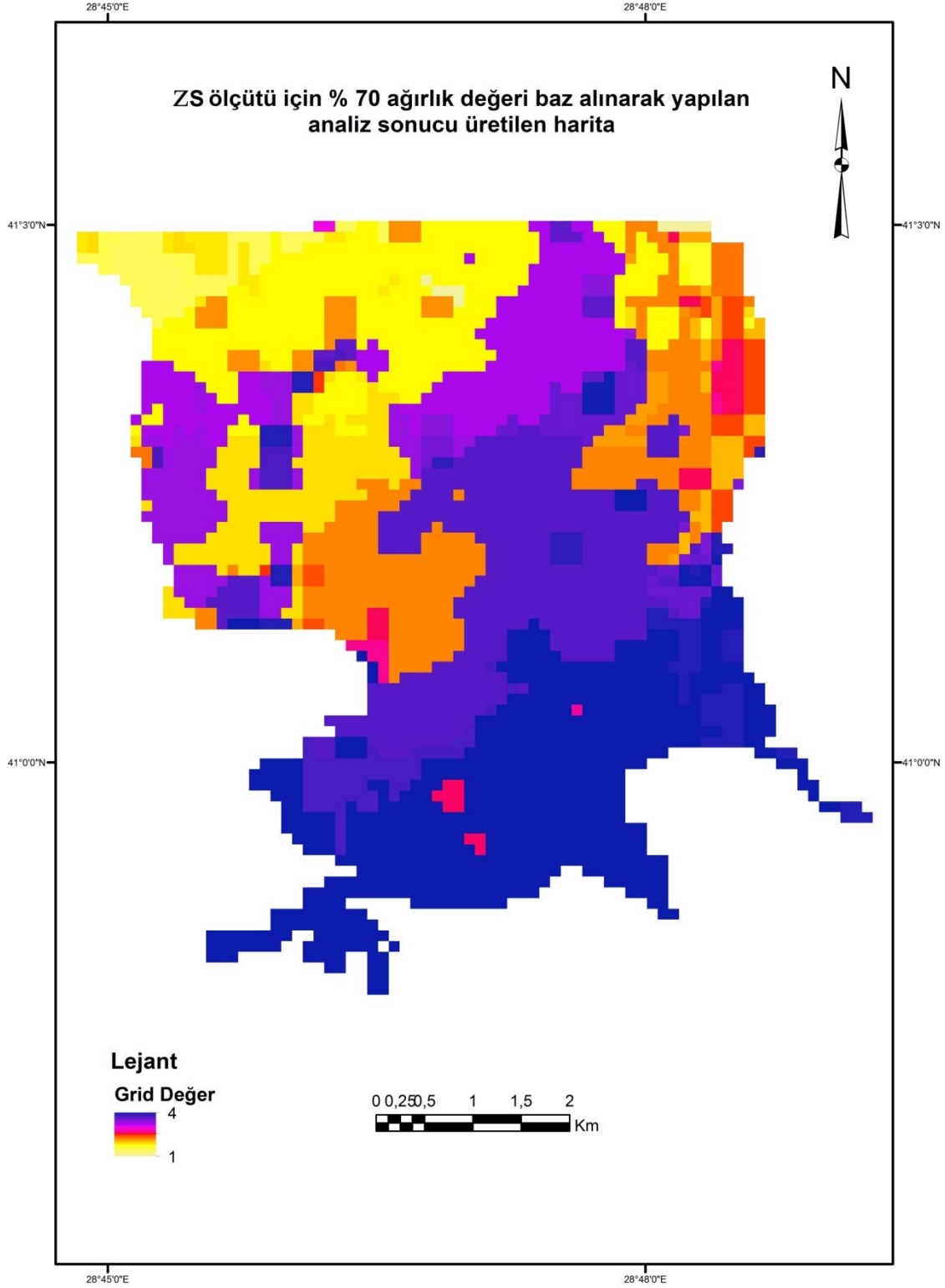
Şekil B.46 : ZS Ölçütü için % 40 ağırlık değeri baz alınarak yapılan analiz sonucu üretilen harita



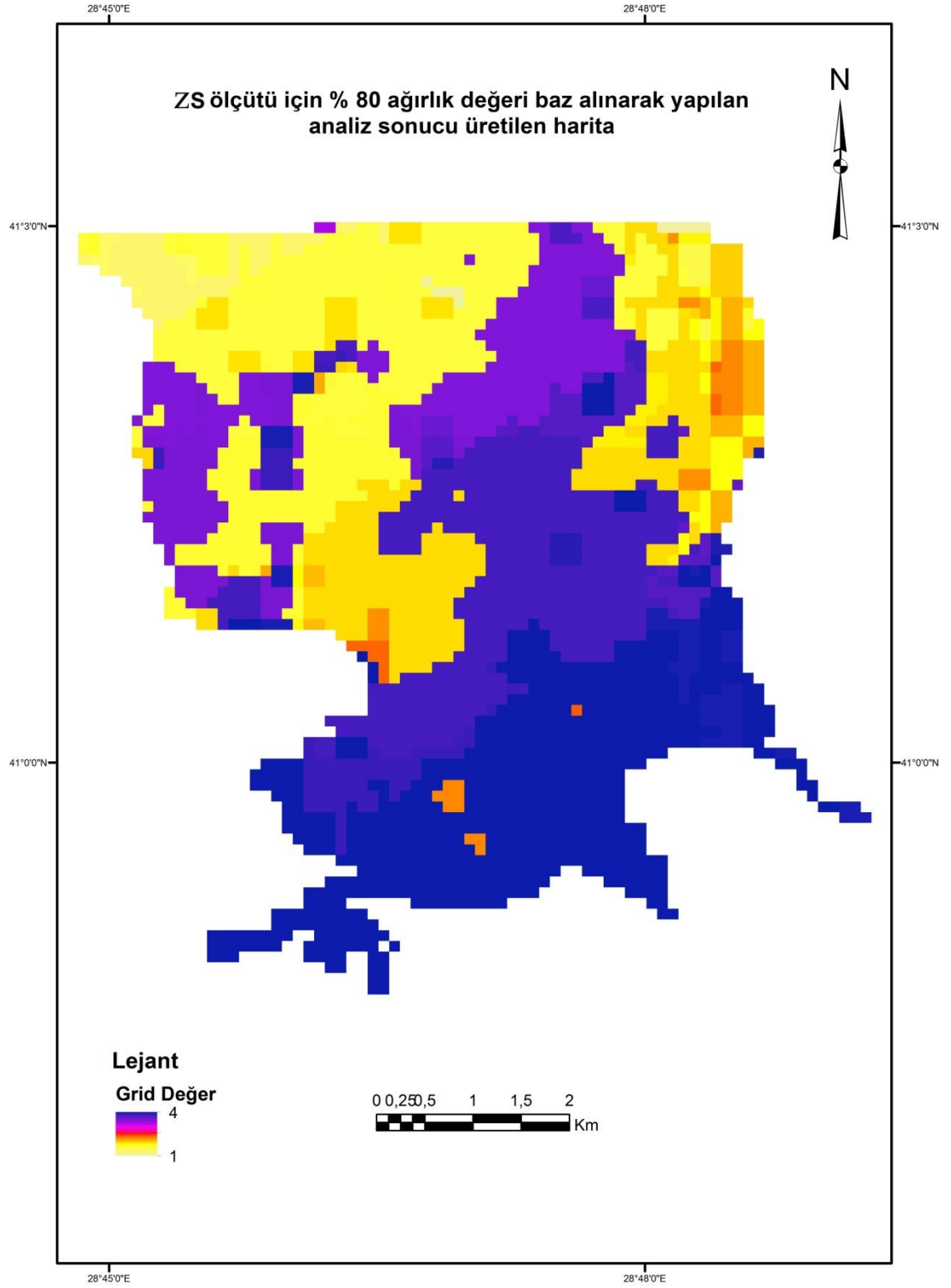
Şekil B.47 : ZS Ölçütü için % 50 ağırlık değeri baz alınarak yapılan analiz sonucu üretilen harita



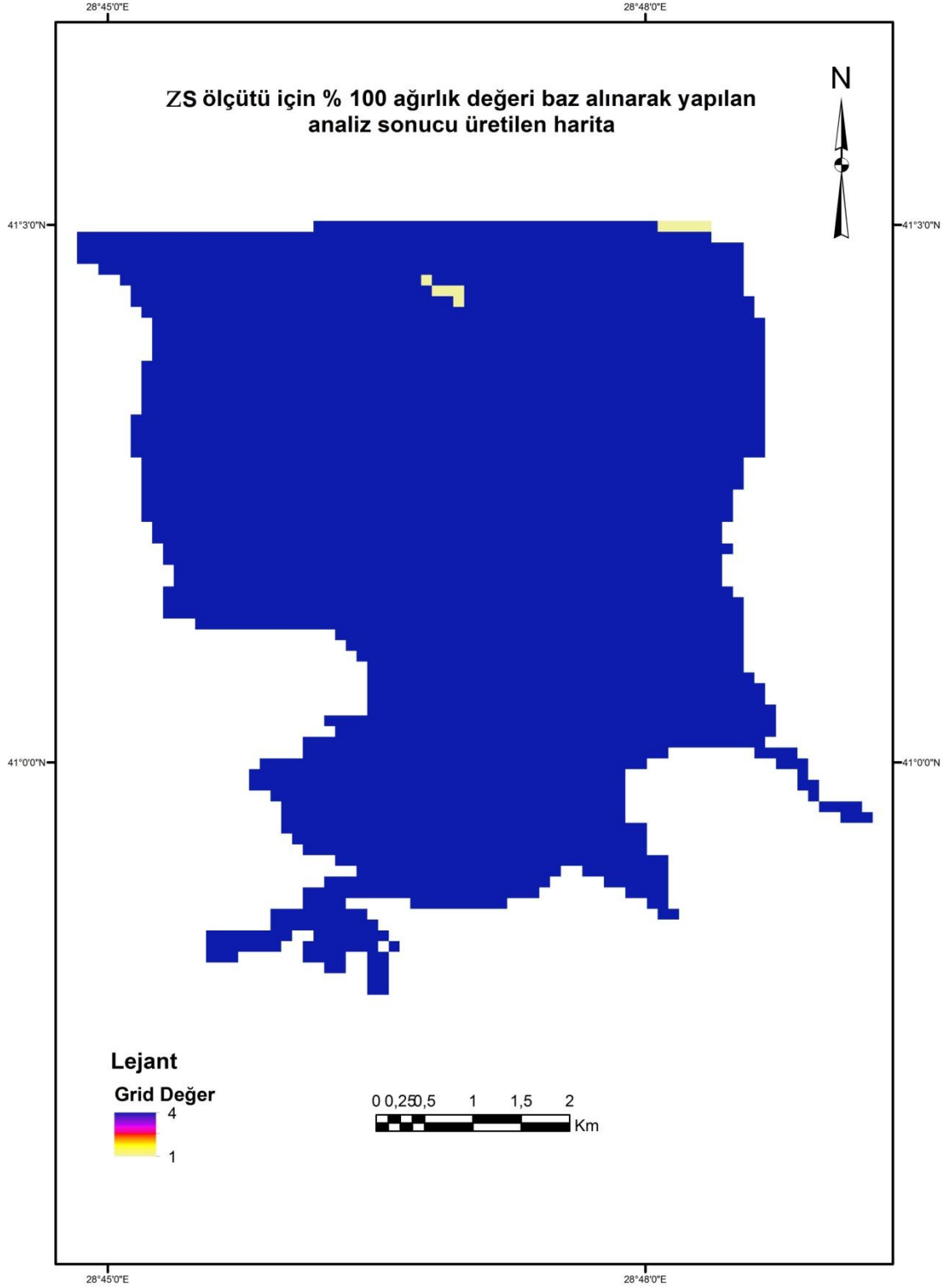
Şekil B.48 : ZS Ölçütü için % 60 ağırlık değeri baz alınarak yapılan analiz sonucu üretilen harita



Şekil B.49 : ZS Ölçütü için % 70 ağırlık değeri baz alınarak yapılan analiz sonucu üretilen harita



Şekil B.50 : ZS Ölçütü için % 80 ağırlık değeri baz alınarak yapılan analiz sonucu üretilen harita



Şekil B.51 : ZS Ölçütü için % 100 ağırlık değeri baz alınarak yapılan analiz sonucu üretilen harita

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Mustafa Ali Gökkaya

Doğum Yeri ve Tarihi: İzmir-Konak / 03.06.1987

Adres: Siyavuşpaşa Mah. Lale 2 Sokak No:5/1
Bahçelievler/İSTANBUL

E-Posta: maligokkaya@hotmail.com;
mustafa.gokkaya@ibb.gov.tr

Lisans: Yıldız Teknik Üniversitesi

Mesleki Deneyim ve Ödüller:

Himtek Mühendislik A.Ş. Proje Sorumlusu (01.08.2011-13.04.2013)

İstanbul Büyükşehir Belediyesi Coğrafi Bilgi Sistemleri Müdürlüğü Harita
Mühendisi / CBS Uzmanı (15.04.2013 – Devam Ediyor)