

Normalize Edilmiş Bitki İndeksini Kullanarak Yağış Miktarının Hesaplanması

Mehmet ŞAHİN^{1*}, Hacı Mustafa KANDIRMAZ², Ozan ŞENKAL³,
Vedat PEŞTEMALCI⁴, Bekir Yiğit YILDIZ⁵

^{1,2,4,5}Çukurova Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü - Balcalı /ADANA

³Çukurova Üniversitesi, Karaisalı Meslek Yüksek Okulu - Karaisalı /ADANA

Alınış tarihi:03.02.2009, Kabul tarihi:26.05.2009

Özet: Bu çalışmada, NOAA (Ulusal Okyanus ve Atmosfer Yönetimi)-12, 14 ve 15 uydularının AVHRR (Çok Yüksek Çözünürlüklü Gelişmiş Radyometre) radyometresinin 1. ve 2. bantları (0.58–1.1 µm) kullanılarak Normalize Edilmiş Bitki İndeksi (NDVI) hesaplanmıştır. NDVI değerleri, yağış miktarı ile ilişkilendirilmiş ve yağış miktarı haritaları oluşturulmuştur. Çalışma zamanı olarak 2002 yılının Nisan ayı seçilmiş ve Adana, Samsun, Şanlıurfa, Van, İzmir, Balıkesir, Konya illerinin meteoroloji istasyonları NDVI-yağış miktarı ilişkisini oluşturmakta bazı noktaları olarak alınmıştır. İlişkilendirmede elde edilen eşitlik yardımıyla Türkiye'nin Nisan ayı için aylık yağış miktarı haritası oluşturulmuştur. Haritalar üzerinde Afyonkarahisar, Ankara, Antalya, Artvin, Denizli, Eskişehir, Erzurum, İstanbul, Kars, Kayseri, Malatya, Rize, Sivas illeri kontrol noktaları alınarak, eşitliğin doğruluğu istatistiksel çalışmalarla sınanmıştır. Yağış miktarının, uydu ve meteoroloji istasyonları değerleriyle karşılaştırılması neticesinde, korelasyon katsayısının $r=0.895$ ve Hataların Karelerinin Ortalamasının Karekökü (RMSE) 11.982 mm bulunmuştur.

Anahtar kelimeler: Normalize Edilmiş Bitki İndeksi, Uydu, Yağış Miktarı, Korelasyon Katsayısı

Calculation of Amount of Rainfall by Using Normalized Difference Vegetation Index

Abstract: In this study, NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration)-12, 14 and 15 satellites AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) radiometre of 1 and 2 bands (0.58-1.1 µm) was used to the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) was calculated. NDVI values are associated with rainfall and rainfall maps were created. As run-time in April 2002 selected and Adana, Samsun, Sanliurfa, Van, İzmir, Balıkesir, Konya province of the weather stations to create NDVI-rainfall relationship is taken as base points. In the equation obtained with the help of Turkey's association for the month of April monthly rainfall map was created. Maps on the Afyonkarahisar, Ankara, Antalya, Artvin, Denizli, Eskişehir, Erzurum, İstanbul, Kars, Kayseri, Malatya, Rize, Sivas provinces by taking control points, the accuracy of equations has been tested with the statistical work. The amount of precipitation, compared with satellite and weather stations for a result, the correlation coefficient $r = 0895$ and the Root Average Square Error (RMSE) 11,982 mm was found.

Keywords: Normalized Difference Vegetation Index, Satellite, Amount Of Rainfall, Correlation-Coefficient.

Giriş

Normalize Edilmiş Bitki İndeksi (NDVI), Landsat, Envisat ve NOAA (Ulusal Okyanus ve Atmosfer Yönetimi) uydusunun AVHRR (Çok Yüksek Çözünürlüklü Gelişmiş Radyometre) algılayıcısından faydalanarak hesaplanmaktadır. AVHRR (Çok Yüksek Çözünürlüklü Gelişmiş Radyometre) algılayıcısında beş farklı kanal bulunmaktadır. Bu kanalların ilk ikisi kullanılarak NDVI (Normalize Edilmiş Bitki İndeksi) hesaplanır. AVHRR (Çok Yüksek Çözünürlüklü Gelişmiş Radyometre)-NDVI (Normalize Edilmiş Bitki İndeksi) görüntüleri birçok çevresel çalışmalarda kullanılmaktadır (Cracknel, 1997). Bunlardan biride, NDVI (Normalize Edilmiş Bitki İndeksi) ile yağış miktarı arasında korelasyon ilişkisi kurularak yağış haritalarının elde edilmesidir. NDVI (Normalize Edilmiş Bitki İndeksi) ve yağış miktarının eşleştirilmesine bağlı olarak elde edilen çalışmaların ortak özelliği, bu iki kavram arasında anlamlı düzeyde bir ilişki olduğu yöndedir. Söz konusu çalışmaları aşağıdaki şekilde sıralamak mümkündür.

Hielkema vd. (1987) yaptıkları çalışmada, NOAA (Ulusal Okyanus ve Atmosfer Yönetimi)-6 ve NOAA (Ulusal Okyanus ve Atmosfer Yönetimi)-7 AVHRR (Çok Yüksek Çözünürlüklü Gelişmiş Radyometre) verileri kullanarak yağış miktarını belirlemeye çalışmışlardır. NOAA (Ulusal Okyanus ve Atmosfer Yönetimi) uyduların AVHRR (Çok Yüksek Çözünürlüklü Gelişmiş Radyometre) algılayıcısının 1. ve 2. kanalları kullanılarak NDVI (Normalize Edilmiş Bitki İndeksi) değeri hesaplanmıştır. NDVI (Normalize Edilmiş Bitki İndeksi) değerlerinin toplamı ile yağış miktarı arasında güçlü bir korelasyon ilişkisinin olduğu görülmüştür. Srivastava vd. (1997) çalışmalarında, NOAA (Ulusal Okyanus ve Atmosfer Yönetimi) uydusunun AVHRR (Çok Yüksek Çözünürlüklü Gelişmiş Radyometre) algılayıcısından faydalanarak elde ettikleri NDVI (Normalize Edilmiş Bitki İndeksi) değerleri, kurak bölge ekosistemi üzerindeki çalışmalara büyük olanak sağlamıştır. Çalışılan bölgede NDVI (Normalize Edilmiş Bitki İndeksi) değeri, yağış miktarı ile ilişkilendirilmiştir. Çalışmada farklı NDVI değerleri, mevsimlik yağış miktarının toplamı ile

yorumlanmıştır. Daha sonra mevsimsel yağış miktarı ile NDVI (Normalize Edilmiş Bitki İndeksi) miktarının toplamı alınmış ve aralarında korelasyon ilişkisi kurulmuştur. Korelasyon katsayısının çalışma bölgesine göre 0.55 ile 0.86 arasında değiştiği görülmüştür. Grist vd. (1997) çalışmalarında, NDVI (Normalize Edilmiş Bitki İndeksi) değerlerine bağlı olarak yağış miktarını tespit etmek ve yıllık yağış haritasını oluşturmak maksadı ile regresyon denklemleri oluşturmuşlardır. Yıllık NDVI (Normalize Edilmiş Bitki İndeksi) değer ile yıllık yağış miktarı arasında oluşturulan korelasyon ilişkisinde, korelasyon katsayısı 0.79 ile 0.81 arasında değişirken; yıllık NDVI (Normalize Edilmiş Bitki İndeksi) değeri ile etkili aylık yağış miktarı arasında oluşturulan korelasyon ilişkisinde, korelasyon katsayısı 0.60 ile 0.73 arasında değiştiği hesaplanmıştır. Richard ve Pocard (1998) çalışmalarında, en yüksek korelasyon ilişkisinin NDVI' in aylık değerine karşılık, önceki iki ayın yağış miktarının toplamının eşleştirilmesiyle meydana geldiğini saptamışlardır.

Schmidt ve Gitelson (2000) yaptıkları çalışmada, NDVI (Normalize Edilmiş Bitki İndeksi) değerinin yağış miktarına çok duyarlı olduğunu sayısal değerle gözlemlemişlerdir. Li vd. (2002), NDVI (Normalize Edilmiş Bitki İndeksi) ile yağış miktarı arasındaki korelasyon ilişki katsayısının anlamlılık düzeyini %96.25 olarak bulmuşlardır. Al-Bakri ve Suleiman (2004), yağış miktarı ile NDVI (Normalize Edilmiş Bitki İndeksi) arasındaki ilişkiyi NOAA (Ulusal Okyanus ve Atmosfer Yönetimi)-AVHRR (Çok Yüksek Çözünürlüklü Gelişmiş Radyometre) verileri kullanarak araştırmışlardır. Yapılan analizde 10 günlük toplam yağış miktarının NDVI (Normalize Edilmiş Bitki İndeksi) bağlılığı, Akdeniz bölgesinde oldukça iyi sonuç verdiği, ortaya çıkmıştır. Li vd. (2004) Senegal 'da yaptıkları çalışmada, yağış miktarı ve NDVI (Normalize Edilmiş Bitki İndeksi) değerleri arasındaki korelasyon ilişki katsayısının 0.74 ile 0.90 arasında değiştiği sonucuna ulaşmışlardır. Martiny vd. (2006) çalışmalarında yıllık yağış miktarının 200–600 mm

aralığındayken, NDVI (Normalize Edilmiş Bitki İndeksi) ile aralarında çok güçlü lineer bir korelasyon ilişkisinin olduğunu ve korelasyon katsayısının 0.82 civarında değiştiğini tespit etmişlerdir.

Çalışmada 2002 Nisan ayı içerisinde meydana gelen toplam yağış miktarı ile NOAA (Ulusal Okyanus ve Atmosfer Yönetimi)-12, 14 ve 15-AVHRR (Çok Yüksek Çözünürlüklü Gelişmiş Radyometre) verilerinden elde edilen NDVI (Normalize Edilmiş Bitki İndeksi) değerleri eşleştirilmiştir. Aralarındaki korelasyon ilişkisinden faydalanarak yağış haritaları elde edilmiştir. Elde edilen haritalar uydu görüntüleri ile yapıldığından daha az insan gücü ve zaman harcanmıştır. Bu nedenle yapılan çalışma önemlidir.

Veri ve Metot

Yağış miktarının hesaplanmasında Adana, Balıkesir, İzmir, Konya, Samsun, Şanlıurfa, Van illeri baz alınarak Nisan ayı için yağış denklemi 7 adet uydu görüntüsü ile geliştirilmiştir. Geliştirilen denklemde yer alan illerin farklı coğrafi bölgelerden olmasına dikkat edilmiştir. Böylelikle tüm Türkiye üzerinde yağış haritalarının oluşturulmasına imkan sağlanmıştır. Geliştirilen denklem Afyonkarahisar, Ankara, Antalya, Artvin, Denizli, Eskişehir, Erzurum, İstanbul, Kars, Kayseri, Malatya, Rize, Sivas illerine uygulanarak bu illere ait yağış miktarı tahmin edilmiştir. Modelin elde edilmesinde ve uygulanmasındaki iller Şekil 1'deki haritada gösterilmiştir.

Uydularla yapılan çalışmalarda, uydu kanallarının kırmızı ve yakın kızılötesi kanallarının verileri alınmıştır. Alınan veriler incelendiğinde kırmızı ve yakın kızılötesi kanalların bitkilerdeki yansımaları arasında uzaysal çözünürlüğe bağlı olarak aralarında büyük fark olduğu gözlenmiştir. Buna bağlı olarak NDVI (Normalize Edilmiş Bitki İndeksi) değeri aşağıdaki gibi formülize edilmiştir.



Şekil 1. Çalışmada kullanılan meteorolojik istasyonların yerbulduru haritası

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (1)$$

Buradaki NIR ve RED sırasıyla yakın kızılötesi ve görünür bölgelerdeki spektral yansıma ölçüsüdür. NOAA (Ulusal Okyanus ve Atmosfer Yönetimi) uydularının AVHRR algılayıcılarından alınan kanal ölçü değerine göre Eşitlik (1) tekrar yazılırsa, Eşitlik (2) elde edilir.

$$NDVI = \frac{CH_2 - CH_1}{CH_2 + CH_1} \quad (2)$$

Buradaki CH_1 ve CH_2 sırasıyla AVHRR algılayıcısının 1. ve 2. kanallarının yansıma miktarı değerleridir. Yukarıdaki Eşitlik (2)'ye göre NDVI (Normalize Edilmiş Bitki İndeksi) ancak -1 ile +1 arasında değerler almaktadır. Söz konusu değerlerin miktarı tamamen bitki örtüsünün enerji soğurmasına ve fotosentez kapasitesine bağlı olarak doğrudan değişmektedir (Sellers, 1985; Myneni vd., 1995).

Yağış Miktarının Hesaplanması

Yeryüzünde yaşayan tüm canlıların yaşam kaynağı sudur. Bu nedenle susuz bir hayat düşünülemez. Su bitkinin çimlenmesini, bitkilerin hücre, gövde, dal, yaprak gibi organlarının canlılığını sağlar. Bu canlılık ve bitkinin kendine özgü şeklini kazanması, aynı zamanda yapraklarıyla solunum yapabilmesi, suyun bitkiye sağladığı birer olanaktır. Su bitkiye gerekli olan besin maddelerini eriterek, kökler tarafından emilmesini ve emilen besin maddelerinin bitki içerisinde taşınmasını da sağlar. Besin maddeleri, bitkinin ihtiyacı olan organlarına veya bitkinin depo görevi yapan bölgelerine su ile taşınır. Sıcak havalarda

yaprak yüzeyinden buharlaşan su, bitki bünyesindeki ısıyı dışarı vererek bitkinin serinlenmesini sağlar. Ayrıca bitkiler kökleri yardımıyla topraktan aldıkları suyun çok az bir kısmını fotosentez yapmak için kullanırken, geri kalanını terleme ile atmosfere vermektedirler.

Sonuç olarak gıda maddelerinin topraktan alınması, bu maddelerin kullanılacak yerlere taşınması, hücre faaliyetlerinin sürdürülebilmesi ve bitki organlarında iç tazyikin sağlanması ve bitkinin büyümesi için bitki kökleriyle yaprakları arasında sürekli bir su akımına ihtiyaç vardır. Eğer bitki kökünden yapraklara kadar su akımı sağlanmadığı takdirde, yani bitki susuz kaldığında önce bitki kökü ölür (Smucker vd., 1991). Kök öldükten sonra çok az sayıda bitki yaşamını sürdürebilir. Suyun bitki köküne ve bitki gelişimine etkisini incelemek için yapılan araştırmada, 35 günlük sürenin çim ve benzeri bitkilerin büyümesi için yeterli olduğu gözlenmiştir (Huang ve Gao, 2000).

Toprak yüzeyi üzerine çıkan ve gelişen bitkiler güneş ışığına maruz kalmaktadır. Bitki üzerine gelen güneş ışığının bir kısmının bitki tarafından yutulacak, bir kısmını da geri yansıtacaktır. Yansıyan ışınlar çeşitli algılayıcı platformlar tarafından algılanarak değerlendirilmektedir. Bu tür çalışmalardan biri de NOAA (Ulusal Okyanus ve Atmosfer Yönetimi)-AVHRR (Çok Yüksek Çözünürlüklü Gelişmiş Radyometre) algılayıcısı tarafından sağlanmaktadır. Radyometrenin 1. ve 2. kanallarından elde edilen ölçüm değerleri Eşitlik (2)'de kullanılarak NDVI (Normalize Edilmiş Bitki İndeksi) değeri hesaplanabilmektedir.

Çalışmalarda çim, ot ve benzeri bitki alanlarının NDVI (Normalize Edilmiş Bitki İndeksi) değerleri, yağışlı mevsimlerde hesaplanmış ve NDVI (Normalize Edilmiş Bitki İndeksi) değerlerinin yağış miktarı ile ilişkisi incelenmiştir. Bu amaçla kış mevsiminde otsu bitkilerin

toprak yüzeyine çıkmadığı varsayılarak, 2002 yılı Nisan ayı içerisindeki ilk yağış tarihinden otuz beş sonraki NDVI (Normalize Edilmiş Bitki İndeksi) değeri NOAA (Ulusal Okyanus ve Atmosfer Yönetimi)-AVHRR (Çok Yüksek Çözünürlüklü Gelişmiş Radyometre) algılayıcısından faydalanılarak hesaplanmıştır. Yağış miktarını tespit etmek içinde 35 gün içerisinde meydana gelen yağış miktarları toplanmış ve yağış miktarı-NDVI (Normalize Edilmiş Bitki İndeksi) ilişkisi kurularak Türkiye için NDVI'a bağlı yağış miktarı formülü elde edilir. Elde edilen formül yağış haritasının oluşturulmasında kullanılmıştır.

Uydu Verilerinin Değerlendirilmesi

Bilimsel çalışmalarda elde edilen verilerin doğruluk derecesini tespit etmek için bulunan değerler ile meteorolojik istasyonlardan elde edilken değerlerin kıyaslanması gerekmektedir. Ancak bu aşamadan sonra değerlendirme yapılabilmektedir. Değerlendirme neticesine göre hesaplanan değerlerin, ölçüm yapılan alanın niteliğine göre istenilen amaca ulaşıp ulaşılmadığının kararına varılır.

Uydu çalışmalarında, çalışmanın özelliğine göre uydudan elde edilen görüntüler, ön düzeltme çalışması yapıldıktan sonra çeşitli matematiksel algoritmalarından veya formülasyondan geçirilir. Formül kullanılarak elde edilen görüntünün değeri, hesaplanan değer olarak nitelendirilir. Hesaplanan değer, yer değeri ile karşılaştırılır. Karşılaştırma yapmak için çeşitli istatistiksel kurallar geliştirilmiştir. Bu kuralları aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür:

1. “ $i = 1, \dots, n$ ”, olmak üzere “ v_i ” yer değerlerinin, “ e_i ” hesaplanan değerlerin oluşturduğu küme, “ \bar{v} ” yer ve “ \bar{e} ” hesaplanan değerlerin ortalaması, “ σ_v ” yer ve “ σ_e ” hesaplanan değerlerin standart sapmaları olmak üzere \bar{v} ve \bar{e} arasındaki fark eğilim(bias) olarak adlandırılır (Laurent vd., 1998).
2. Lineer korelasyon katsayısı r ; hesaplanan değerle, yer değeri arasındaki ilişkiyi gösterir. Bu ilişkiye göre yeni formüller üretilebilir (Kendall ve Stuart, 1963).

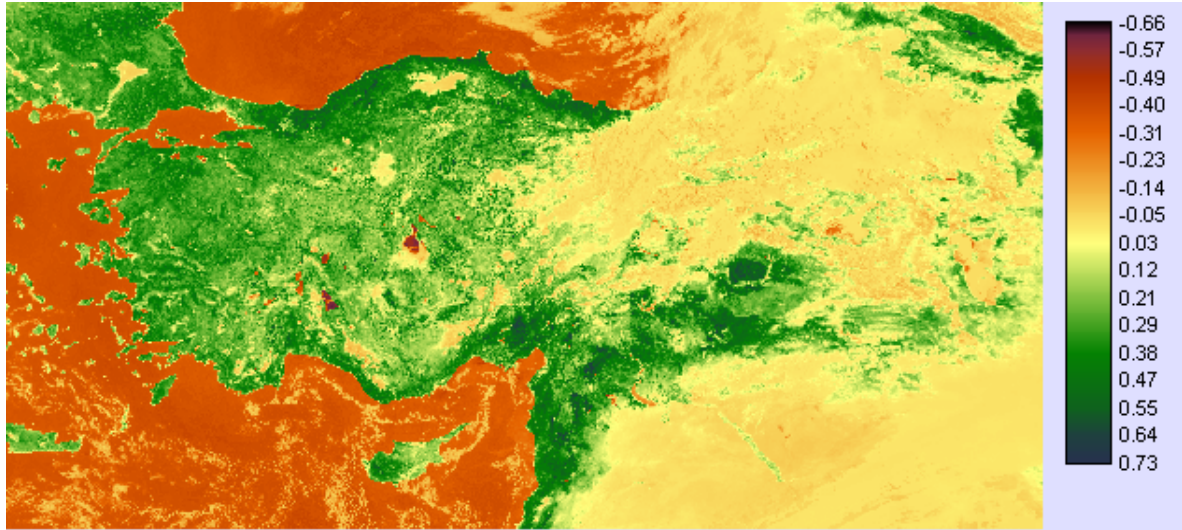
$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (v_i - \bar{v})(e_i - \bar{e})}{n\sigma_v\sigma_e} \quad (3)$$

3. Hataların Karelerinin Ortalamasının Karekökü (RMSE) matematiksel ifadesine, hesaplanan değer ile yer değeri arasındaki uzaklaşmanın kesin ölçümü olarak bakılır. Elde edilen RMSE (Hataların Karelerinin Ortalamasının Karekökü) değerinin az olması, hesaplanan değer in o kadar başarılı olduğunun kanıtıdır. Genellikle kısa dönem çalışmalarının doğruluk analizinde kullanılır. Çalışmalarda kullanımı oldukça yaygındır (Laurent vd., 1998).

$$RMSE = \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (e_i - v_i)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

Uygulama

Yağış miktarının hesaplanmasında 2002 yılı, Nisan ayı seçilmiştir. Çalışma, 27.04.2002 tarihinden 07.05.2002 tarihine kadar toplam 7 görüntü üzerinden gerçekleştirilmiştir. Çalışmada Adana, Balıkesir, İzmir, Konya, Samsun, Şanlıurfa, Van illeri NDVI (Normalize Edilmiş Bitki İndeksi) ile yağış miktarının ilişkilendirilmesinde kullanılmıştır. Metodun doğruluğunu sınamak amacıyla Afyonkarahisar, Ankara, Antalya, Artvin, Denizli, Erzurum, Eskişehir, İstanbul, Kars, Kayseri, Malatya, Rize, Sivas illeri kontrol noktası olarak seçilmiştir. Yağış miktarı hesaplanmasında Envi 4.3, İdrisi Andes ve Erdas 8.3 görüntü işleme paket programları kullanılmıştır. Çalışmada Eşitlik (2) kullanılarak görüntülerin NDVI (Normalize Edilmiş Bitki İndeksi) değerleri hesaplanmıştır. Görüntünün NDVI (Normalize Edilmiş Bitki İndeksi) değeri, görüntünün 35 gün öncesinden başlayarak görüntü tarihine kadar meydana gelen toplam yağış miktarı ile eşleştirilmesi sonucu, NDVI-yağış miktarı arasında denklem oluşturulmuştur. Elde edilen denklem diğer NDVI (Normalize Edilmiş Bitki İndeksi) görüntülerinde uygulanarak Türkiye için aylık yağış haritası oluşturulmuştur. Oluşturulan haritalar üzerinde uydu verileri ile yer kontrol noktaları eşleştirilmiş ve gerekli istatistiksel çalışmalar yapılarak korelasyon katsayısı ve RMSE (Hataların Karelerinin Ortalamasının Karekökü) değerleri elde edilmiştir.



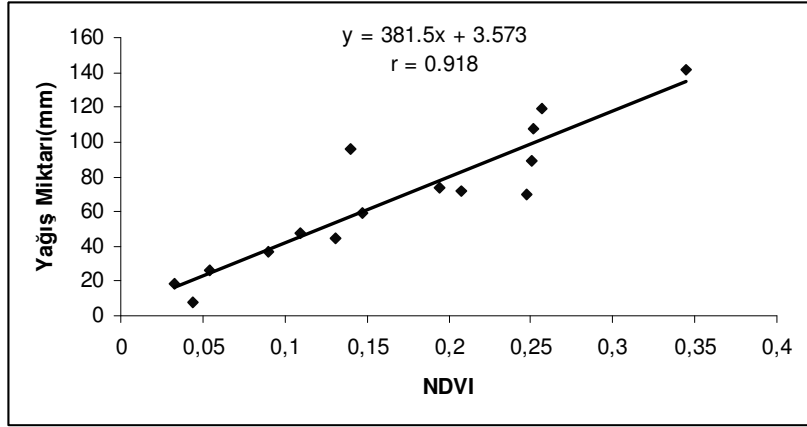
Şekil 2. 27.04.2002 tarihli ve saat 07.18'deki NDVI (Normalize Edilmiş Bitki İndeksi) görüntüsü

Çizelge 1. Aylık yağış miktarı ve Normalize Edilmiş Bitki İndeksi (NDVI)

İller	Yağış Miktarı (mm)	NDVI Değeri
Adana	44.3	0.131
Adana	73.5	0.194
Adana	88.8	0.251
Samsun	7.70	0.044
Samsun	59.3	0.147
Şanlıurfa	18.5	0.033
Şanlıurfa	26.1	0.054
Şanlıurfa	47.3	0.109
İzmir	96.0	0.140
İzmir	119.7	0.257
Balıkesir	141.8	0.345
Konya	70.0	0.248
Van	36.6	0.090
Van	71.5	0.208
Van	107.4	0.252

Yapılan çalışmada sıra takibini göstermek için 27.04.2002 tarihli ve yerel saat ile 07:18'deki NOAA-15/AVHRR uydu görüntüsü kullanılmıştır. Görüntü öncelikli olarak Quarium yazılımı yardımıyla level-1b formatına dönüştürülmüş, geometrik ve radyometrik düzeltme sağlanmıştır. Daha sonra 1.ve 2. kanallardan faydalanarak NDVI (Normalize Edilmiş Bitki İndeksi) değeri hesaplanmıştır. Elde edilen NDVI (Normalize Edilmiş Bitki İndeksi) haritası Şekil 2' de gösterilmiştir. Şekil 2 incelendiğinde bazı piksel değerlerinin negatif çıktığı gözlenmiştir. NDVI (Normalize Edilmiş Bitki İndeksi) değerinin negatif değerde olması görüntü üzerindeki deniz, göl, akarsu, buluttan kaynaklanmaktadır. Hesaplama kullanılan

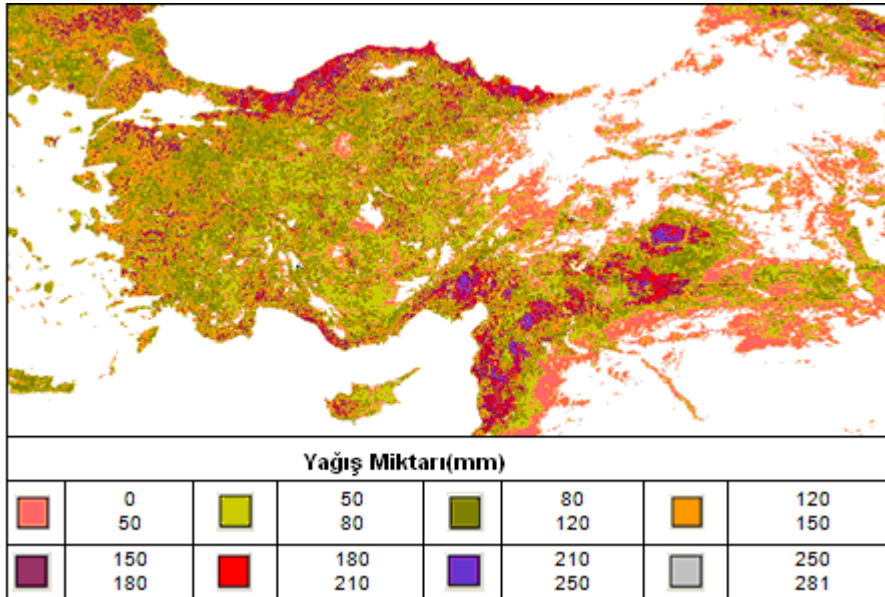
NDVI (Normalize Edilmiş Bitki İndeksi) ile yağış miktarı arasındaki ilişki Çizelge 1'de gösterilmiştir. Çizelge 1'den faydalanarak NDVI (Normalize Edilmiş Bitki İndeksi) değeri ile yağış miktarı arasında Eşitlik (3) yardımıyla korelasyon ilişkisi kurulmuştur. Elde edilen korelasyon ilişkisi Şekil 3'de gösterilmiştir. Yapılan çalışmada, korelasyon katsayısı $r = 0.918$ çıktığı için NDVI (Normalize Edilmiş Bitki İndeksi) ile yağış miktarı arasında güçlü bir ilişkinin olduğu görülmüştür. Diğer taraftan eğim çizgisinden faydalanarak denklem çıkarımı da yapılmış ve $y = 381.5x + 3.573$ matematiksel ifadesi elde edilmiştir. Buradaki y harfi yağış miktarını, x harfi ise NDVI değerini göstermektedir.



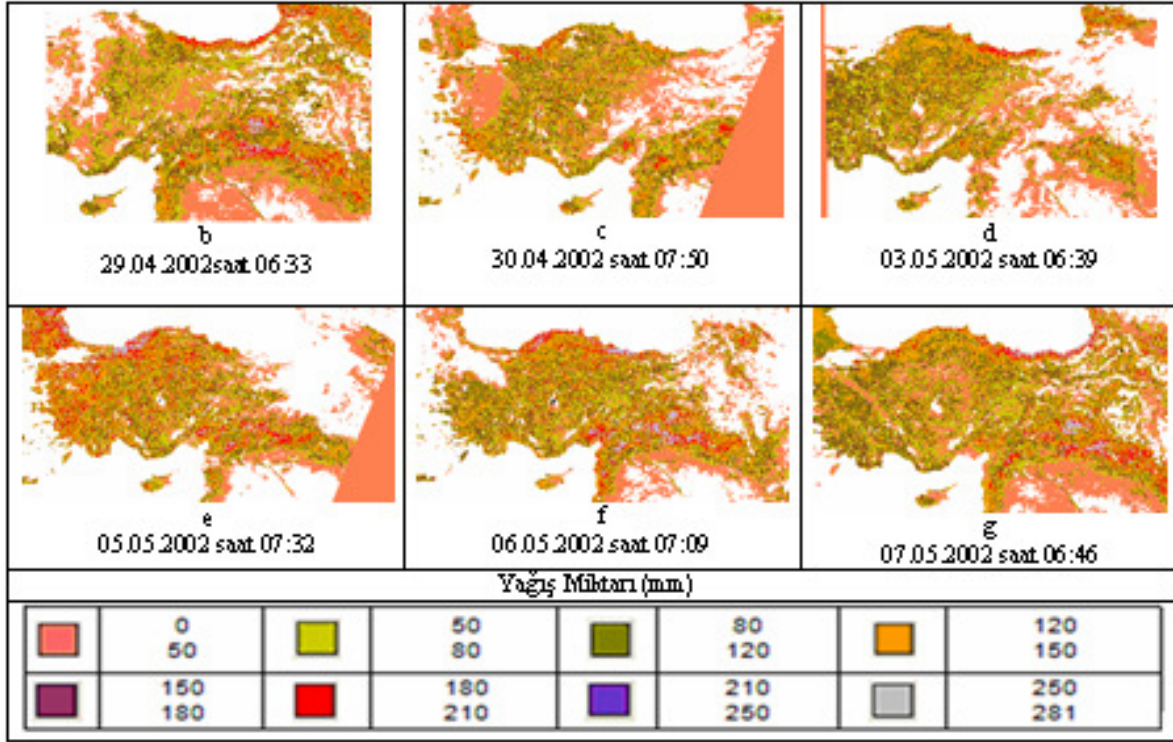
Şekil 3. NDVI (Normalize Edilmiş Bitki İndeksi) ile aylık yağış miktarının korelasyon ilişkisi

Çalışmada, 27.04.2002 tarihli ve yerel saat ile 07:18'deki NOAA-15 uydu görüntüsünden elde edilen Şekil 2'deki NDVI görüntüsü, korelasyon ilişkisine bağlı olarak hesaplanan denklem yardımıyla yağış

miktarını gösterir haritaya dönüştürülmüştür. Şekil 2'deki NDVI (Normalize Edilmiş Bitki İndeksi) değerine bağlı yağış haritası Şekil 4-a' da ve diğer yağış haritaları Şekil 4-b,c,d,e,f,g'de gösterilmiştir.



Şekil 4-a. NDVI (Normalize Edilmiş Bitki İndeksi) değerine bağlı olarak elde edilen aylık yağış haritası



Şekil 4-b,c,d,e,f,g . NDVI (Normalize Edilmiş Bitki İndeksi) değerine bağlı olarak elde edilen aylık yağış haritaları

Elde edilen haritada deniz ve su etkisi ortadan kaldırılmıştır. Haritada deniz, göl, akarsu, bulutlu bölgeler beyaz renkte gösterilmiştir. Bu bölgelerde piksel değerleri sıfırın altında çıkmıştır. Yağış miktarının analizinde sıfırın altındaki değerlerin hiçbir anlamı yoktur. Bu nedenle haritadan bu bölgeler çıkarılmıştır. Diğer taraftan NDVI (Normalize Edilmiş Bitki İndeksi) değerine bağlı olarak yağış miktarının tahmin edilmesi yöntemi, bitkisel alanlarda belli bir değeri vermesine rağmen deniz, akarsu, göl gibi alanlarda negatif değerler vermesi bir eksiklik olarak bakılmalıdır. Çünkü bu bölgelerde de yağış olmasına rağmen haritada sıfır veya negatif değerde piksellerle karşılaşılmaktadır. Bu nedenle yağış miktarı hesaplamalarında, bitkisel alanların dışındaki bölgelerde çalışmalar yapabilmek için daha farklı yöntemlerin kullanılmasında fayda vardır.

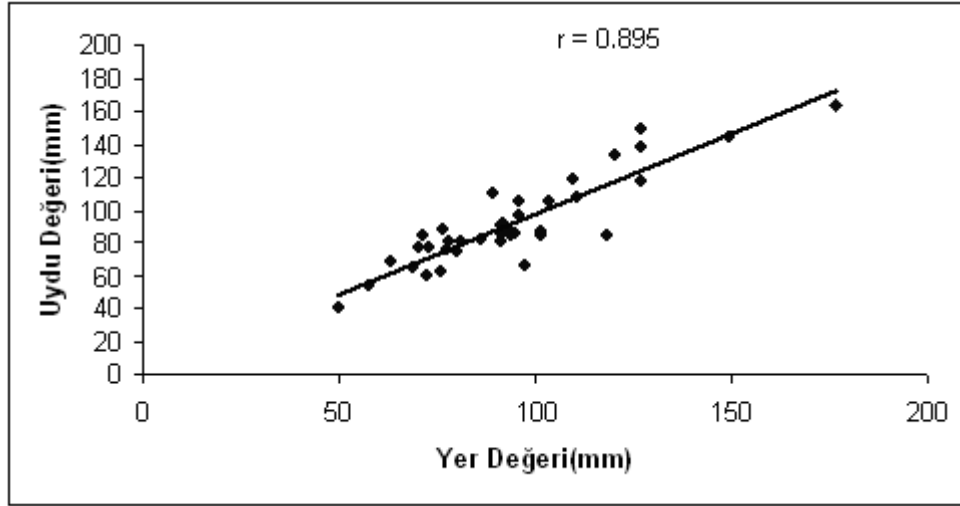
Yağış miktarı ile NDVI (Normalize Edilmiş Bitki İndeksi) arasında kurulan korelasyon ilişkisi sonucu elde

edilen denklem neticesinde birbirinden farklı 7 adet yağış miktarı haritasına ulaşılmıştır. Kontrol noktaları harita üzerinde bulunarak piksel değerleri kaydedilmiş ve yer değeri ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen değerler Çizelge 2’de verilmiştir. Çizelge 2’deki yağış miktarının yer ve uydu değerlerinin kullanılmasıyla, aralarındaki korelasyon ilişkisi tespit edilmiş ve elde edilen ilişki Şekil 5’de verilmiştir. Çalışmada korelasyon katsayısı $r = 0.895$ olarak bulunmuştur. Bu sonuç yer ve uydu değerleri arasında güçlü bir korelasyon ilişkisinin olduğunu göstermektedir.

Ayrıca, Çizelge 2’den faydalanarak yer ve uydu değerleri arasındaki RMSE (Hataların Karelerinin Ortalamasının Karekökü) değeri Eşitlik (4)’ün kullanılmasıyla hesaplanmıştır. RMSE (Hataların Karelerinin Ortalamasının Karekökü) değeri 11.982 olarak bulunmuştur. Bulunan bu değer NDVI değerine bağlı olarak yağış miktarının hesaplanmasında 11.982 mm hata payının olabileceğini göstermektedir.

Cizelge 2. Uydu verileri ile elde edilen aylık yağış miktarının yer değerleri ile karşılaştırılması

İller	Yer Değeri (mm)	Uydu Değeri (mm)	İller	Yer Değeri (mm)	Uydu Değeri (mm)
Malatya	68.90	65.40	Kayseri	72.20	60.50
Malatya	72.90	77.20	Kayseri	75.80	63.24
Malatya	78.10	81.47	Kayseri	91.10	91.20
Malatya	79.90	75.04	Kayseri	91.20	80.90
İstanbul	50.00	41.60	Kayseri	91.30	85.87
Denizli	126.60	118.00	Eskisehir	57.50	54.14
Denizli	126.60	138.38	Eskisehir	70.40	78.00
Denizli	126.60	149.00	Eskişehir	71.00	84.31
Denizli	149.20	144.11	Eskişehir	76.30	89.00
Denizli	176.40	163.10	Erzurum	77.10	76.00
Antalya	103.20	106.00	Erzurum	81.10	81.00
Antalya	109.30	119.00	Erzurum	86.20	83.00
Antalya	118.00	84.83	Ankara	101.10	87.00
Afyonkarahisar	89.10	110.00	Ankara	101.20	85.00
Afyonkarahisar	91.60	92.00	Rize	119.90	133.00
Afyonkarahisar	93.10	89.00	Rize	97.10	66.10
Afyonkarahisar	95.70	97.00	Sivas	93.60	85.00
Artvin	63.20	69.00	Sivas	94.90	86.00
Artvin	95.60	106.00	Kars	110.50	108.00



Şekil 5. Aylık yağış miktarının uydu ve yer korelasyon ilişkisi

Tartışma ve Sonuçlar

Yağış miktarının hesaplanmasında NDVI (Normalize Edilmiş Bitki İndeksi) değerinden faydalanılmıştır. Çalışma zamanı olarak, 2002 Nisan ayı seçilmiştir. Yağışların süre geldiği Nisan ayı boyunca yağış miktarının toplamı hesaplanmıştır. Daha sonra uydu verilerinden elde edilen NDVI (Normalize Edilmiş Bitki İndeksi) değeriyle toplam yağış miktarı arasında korelasyon ilişkisi kurulmuştur. Hesaplama neticesinde korelasyon katsayısı 0.895 olarak elde edilmiştir. Literatürde Srivastava vd. (1997) çalışmalarında korelasyon katsayısının çalışma bölgesine göre 0.55 ile 0.86 arasında değiştiği hesaplanmıştır. Grist vd. (1997) çalışmalarında yıllık NDVI (Normalize Edilmiş Bitki İndeksi) değer ile yıllık yağış miktarı arasında oluşturulan korelasyon ilişkisinde, korelasyon katsayısı 0.79 ile 0.81 arasında değişirken; yıllık NDVI (Normalize Edilmiş Bitki İndeksi) değeri ile etkili aylık yağış miktarı arasında oluşturulan korelasyon ilişkisinde, korelasyon katsayısının 0.60 ile 0.73 arasında değiştiğini elde etmişlerdir. Li vd. (2002), NDVI (Normalize Edilmiş Bitki İndeksi) ile yağış miktarı arasındaki korelasyon ilişki katsayısının anlamlılık düzeyini 96.25 olarak bulmuşlardır. Al-Bakri ve Suleiman (2004), yağış miktarı ile NDVI (Normalize Edilmiş Bitki İndeksi) arasındaki ilişkiyi yapılan 10 günlük toplam yağış miktarının NDVI (Normalize Edilmiş Bitki İndeksi) bağıllığı analizinde, Akdeniz bölgesinde korelasyon katsayısını 0.75 olarak elde etmişlerdir. Li vd. (2004) Senegal 'da yaptıkları çalışmada, yağış miktarı ve NDVI (Normalize Edilmiş Bitki İndeksi) değerleri arasındaki korelasyon ilişki katsayısının 0.74 ile 0.90 arasında değiştiği sonucuna ulaşmışlardır. Martiny vd. (2006) çalışmalarında yıllık yağış miktarının 200–600 mm aralığındayken, NDVI (Normalize Edilmiş Bitki İndeksi) ile aralarında çok güçlü lineer bir korelasyon ilişkisinin olduğunu ve korelasyon katsayısının 0.82 civarında değiştiğini tespit etmişlerdir. Görüldüğü gibi yapılan önceki çalışmalarda ve yaptığımız çalışmada yağış miktarı ile NDVI (Normalize Edilmiş Bitki İndeksi) arasında oldukça güçlü bir ilişki olduğu gözlenmiştir.

Çalışmada söz konusu ilişkiden faydalanarak yağış miktarı $=381.5 \text{ NDVI} + 3.573$ denklemi oluşturulmuştur. Denklemin kullanılmasıyla 7 adet NDVI (Normalize Edilmiş Bitki İndeksi) haritası yağış haritasına dönüştürülmüştür. Yağış haritası üzerindeki kontrol noktaları yer değerleri ile kıyaslanmıştır. Kıyaslama neticesinde, RMSE (Hataların Karelerinin Ortalamasının Karekökü) değeri 11.982 mm olarak bulunmuştur.

Yapılan çalışma sonucunda uydu verilerinden faydalanarak Türkiye'nin yağış miktarının hesaplanabileceği ve haritalarının oluşturulabileceği görülmüştür. NDVI (Normalize Edilmiş Bitki İndeksi) değerine bağlı olarak yağış miktarının belirlenmesi, bitkisel alanlarda oldukça başarılı sonuçlar vermiştir. Fakat bitki örtüsünün hiç olmadığı veya uydu görüntülerindeki bulutlu piksellerin bulunduğu alanlarda aynı başarıdan söz etmek mümkün değildir. Ayrıca elde edilen sonuçlar 15 değerle kıyaslama yapılmıştır. İlerki çalışmalarda 30 veya 50 istasyon için bu çalışmanın yapılması daha güvenilir sonuçlar verecektir. Çalışmada 15 istasyon için kıyaslama yapıldığından elde edilen yüksek korelasyon değeri az noktaya bağlı olarak elde edilmiştir. İstasyon sayısının az olmasının nedeni olarak, 2002 Nisan ayının uydu görüntülerinin oldukça bulutlu olmasıdır. Dolayısıyla kıyaslama değerleri sınırlı olmuştur.

Teşekkür

Uydu verilerini temininde her türlü kolaylığı sağlayan ODTÜ Tübitak-Bilten Kurumu çalışanlarına ve meteorolojik verilerin elde edilmesinde yardımcı olan Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü çalışanlarına, yaptıkları yardımlardan dolayı teşekkür ederiz.

Kaynaklar

Al-Bakri, J.T., Suleiman, A.S. 2004. NDVI Response to Rainfall in Different Ecological Zones in Jordan. International Journal of Remote Sensing, 25, 3897-3912.

- Cracknell, A.P. 1997. The Advanced Very High Resolution Radiometer. Tayler & Francis Publisher, London, United Kingdom, 534 pp.
- Gates, D.M. 1980. Biophysical Ecology. Springer-Verlag, Publisher, New York, 611 pp.
- Grist, J., Nicholson, S.E., Mpolokang, A. 1997. On the Use of NDVI for Estimating Rainfall Fields in the Kalahari of Botswana. *Journal of Arid Environments*, 35, 195-214.
- Hielkema, J.U., Prince, S.D., Astle, W.L. 1987. Monitoring of Global Vegetation Dynamics for Assessment of Primary Productivity Using NOAA Advanced Very High Resolution Radiometer. *Advances in Space Research*, 7, 81-88.
- Huang, B., Gao, H. 2000. Root Physiological Characteristics Associated with Drought Resistance in Tall Fescue Cultivars. *Crop Science Society of America, Crop Science*, 40, 196-203.
- Kendall, M.A., Stuart, A. 1963. The Advanced Theory of Statistics. Griffin Ed., London, 550 pp.
- Laurent, H., Jobard, I., Toma, A. 1998. Validation of Satellite and Ground-Based Estimates of Precipitation Over the Sahel. *Atmospheric Research*, 47-48, 651-670.
- Li, J., Lewis, J., Rowland, J., Tappan, G., Tieszen, L.L. 2004. Evaluation of Land Performance in Senegal Using Multi-Temporal NDVI and Rainfall Series. *Journal of Arid Environments*, 59, 463-480.
- Li, B., Tao, S., Dawson, R.W. 2002. Relations between AVHRR NDVI and Ecoclimatic Parameters in China. *International Journal of Remote Sensing*, 23, 989-999.
- Martiny, N., Camberlin, Y., Richard, Y., Philippon, N. 2006. Compared Regimes of NDVI and Rainfall in Semi-Arid Regions of Africa. *International Journal of Remote Sensing*, 27, 5201-5223.
- Myneni, R.B., Hall, F.G., Sellers, P.J., Marshak, A.L. 1995. The Interpretation of Spectral Vegetation Indexes, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 33, 481-486.
- Richard, Y., Pocard, I. 1998. A Statistical Study of NDVI Sensitivity to Seasonal and Interannual Rainfall Variations in Southern Africa. *International Journal of Remote Sensing*, 19, 2907- 2920.
- Schmidt, H., Gitelson, A. 2000. Temporal and Spatial Vegetation Cover Changes in Israeli Transition Zone: AVHRR-Based Assessment of Rainfall Impact. *International Journal of Remote Sensing*, 21, 997-1010.
- Sellers, P.J. 1985. Canopy Reflectance, Photosynthesis and Transpiration. *International Journal of Remote Sensing*, 6, 1335-1372.
- Smucker, A.J.M., Nunez-Barrios, A., Ritchie, J.T. 1991. Root Dynamics in Drying Soil Environments. *Belowground Ecol.*, 1, 1-5.
- Srivastava, S.K., Jayaraman, V., Rao, P.P.N., Manikiam, B., Chandrasekhar, M.G. 1997. Interlinkages of NOAA/AVHRR Derived Integrated NDVI to Seasonal Precipitation and Transpiration in Dryland Tropics. *International Journal of Remote Sensing*, 18, 2931-2952.