

Atmosferde Erime Katmanının Radyo Dalgalarına Etkisi:

Yansıtıcılık ve Sönümlenme

Saadet Deniz KORKMAZ

Osmangazi Üniversitesi

Fizik Bölümü

Meşelik Yerleşkesi, Eskişehir

sduysal@ogu.edu.tr

Özet: Bu çalışmada, kar taneciklerinin eriyerek yağmur damlacıklarına dönüştüğü erime katmanının değişik frekanslardaki radyo dalgalarına etkisi araştırıldı. Eriyen parçacıkların erime oranlarının ve dielektrik fonksiyonlarının hesaplanması için bir erime katmanı modeli verildi. Bu model kullanılarak erime katmanı boyunca radyo dalgalarının yansıtıcılık ve sönümlenmeleri S, X ve Ka bandları için hesaplandı. Frekans arttıkça sönümlenme artarken yansıtıcılığın azaldığı görüldü.

1. Giriş

Orta enlemlere düşen yağmurların çok önemli kısmı 0 °C izoterm seviyesinin hemen altındaki erime katmanına düşen kar tanelerinin erimesiyle oluşur. Katı fazdan sıvı faza geçişin olduğu bu katmanda radar yansıtıcılığında (reflectivity) bir artış gözlenir ve bu sebeple atmosferin bu katmanı parlak band (bright band) olarak adlandırılır. Radar yansıtıcılığındaki bu artışın sebebi, kar tanelerinin erimesi sırasında üzerlerindeki su kesrinin artışıyla şekilleri, boyut dağılımları ve yoğunluklarının değişimleri ve bu değişimlerin radarda ve uydu haberleşmelerinde kullanılan mikro dalgaların yayılımı üzerindeki etkileridir. Radar yansıtıcılığındaki bu artışın hidroloji ve radar meteorolojisi için önemli sonuçları vardır çünkü radar çıkarımlı yağış tahminlerinde hatalara sebep olur. Öte yandan erime katmanı boyunca sönümlenme (attenuation) özellikle yüksek frekans kullanan uydu haberleşmelerinde performans düşürücü etkiye sebep olur. Bu etkilerin en aza indirilebilmesi için bunların çok iyi tanımlanması gerekmektedir. Bu çalışmada erime katmanının radar dalgalarına etkisi araştırılmış, S, X ve Ka bandları için erime katmanı boyunca yansıtıcılık ve sönümlenmeler hesaplanmıştır. Eriyen parçacıkların erime oranlarının, dielektrik fonksiyonlarının ve geri saçılma sönümlenme tesir kesitlerinin hesaplanmasında kullanılan erime katmanı modeli bölüm 2 dedir. Ortalama parçacık boyutu için hesaplanan geçirgenlikler ile yansıtıcılık ve sönümlenmelerin erime katmanı boyunca değişimleri ve tartışma son bölümde verilmiştir.

2. Erime katmanı modeli

Erime katmanı modeli, eriyen parçacıkların üzerindeki su kesrini hesaplamak için kullanılan erime modeli ile geçirgenliklerinin ve geri saçılma ve sönümlenme tesir kesitlerinin hesaplandığı saçılma modelinden oluşmuştur. Erime katmanı boyunca tüm parçacıklar küresel kabul edilmişlerdir. Erime sırasında kar taneciğine çevredeki sıcak hava tarafından iletilen ısı, buzun erimesi ve eriyen suyun buharlaşmasıyla tanecikten alınan ısı ile dengelenir. Bu denge şartı kullanılarak ve erime katmanı boyunca kar tanelerinde kütle değişimi olmadığı varsayımıyla erimiş su kesri f

$$\frac{df}{dz} = \frac{4\pi F C_i}{L_m m_0 V_m(D_w, f)} \times \left(k_a [T_\infty - T_0] + \frac{D_v M_w L_e}{R} \left[\frac{(RH/100) e_{sat,w}(T_\infty)}{T_\infty} - \frac{e_{sat,w}(T_0)}{T_0} \right] \right)$$

(1)

denklemler ile elde edilmiştir [1]. Denklem (1) de C_i eriyen parçacığın kapasitansı olup parçacığın yarıçapına eşittir. F ventilasyon faktörü ve $V_m(D_w, f)$ eriyen parçacık düşme hızı m_0 parçacık kütlesi, k_a havanın termal iletkenlik katsayısı, D_v su buharının difüzyon katsayısı, M_w suyun moleküler ağırlığı, R ideal gaz sabiti, L_m ve L_e sırasıyla erime ve buharlaşma gizli ısıları, RH ve T_∞ eriyen parçacık etrafındaki havanın bağıl nemi ve sıcaklığı, T_0 ($= 0$ °C) eriyen parçacığın sıcaklığı, $e_{sat,w}(T_0)$ su yüzeyi doyum buhar basıncı ve $e_{sat,w}(T_\infty)$ çevre havasının doyum buhar basıncı olup Pruppacher and Klett tarafından verilen [2] ampirik bağıntı ile hesaplanmıştır.

Bu çalışmada eriyen parçacık için ventilasyon faktörü F ve düşme hızı $V_m(D_w, f)$ Szyrmer ve Zawadzki tarafından verilen [3] bağıntılar kullanılarak hesaplanmıştır. Denklem (1) in çözümünde erime katmanına giren kar taneciklerinin yoğunlukları ve eridiklerinde sahip olacakları yağmur damlası çapları giriş verisi olarak kullanılmıştır [1,4]. Yağmur bölgesinde erimiş kar taneciklerinin farklı boyutlarda oldukları kabul edilmiş ve en

büyük parçacık boyutu 12 mm h^{-1} yağış şiddeti için radar yansıtırlık datasına fit edilerek elde edilmiştir. Erime katmanına giren kar tanelerinin yoğunluklarının çaplarına bağlı olduğu kabul edilmiştir. D_s kar tanesinin erime katmanına girmeden hemen önceki çapı olmak üzere kar tanesi yoğunluğu

$$\rho_s = 0.015 D_s^{-1} \quad (2)$$

eşitliği ile elde edilmiştir [5]. Bilgisayar programında [4] yağmur damlaları boyut aralığı 0.01 cm lik ΔD_w aralıklarına bölünmüş ve denklem (1) her bir D_w ile $D_w + \Delta D_w$ aralığındaki ortalama erimiş çap ve bunlara karşılık gelen kar tanesi yoğunluğu için çözülmüştür.

Çok parçacıktan oluşan bir sistemin toplam saçılma ve sönümlenme tesir kesitlerini hesaplayabilmek için parçacıkların boyut dağılım fonksiyonlarının bilinmesi gereklidir. Yağmur bölgesi damlacık boyut dağılımı $N(D_w)$ için Gamma boyut dağılımı [6] kullanılmış, erime katmanı boyunca durağan durum varsayımıyla eriyen kar tanelerinin sayı yoğunlukları $N_{ms}(D_w, f)$ için

$$N_{ms}(D_w, f) = (4.6 - 1.8f - 1.8f^2) N(D_w) \quad (3)$$

ifadesi kullanılmıştır.

Erime katmanı boyunca sönümlenme ve yansıtırlıkların hesaplaması için parçacık yoğunluğunun ve parçacığın yapısına bağlı olan geçirgenliğinin bilinmesi gerekir. Bu çalışmada eriyen kar tanelerinin geçirgenliği Fabry ve Szyrmer tarafından ortaya atılan model kullanılarak hesaplanmıştır [7]. Şematik gösterimi Şekil 1 de verilen modelde eriyen kar tanesi iç içe geçmiş iki küreden oluşmakta, içteki küre buz yapıların etrafında toplanan sularla oluşan ıslak-buz matrisi içinde eliptik hava yapıları şeklinde iken, dıştaki küresel kabuk hava matrisi içinde yer alan eliptik ıslak buz yapılar şeklindedir.

Şekil 1. Kar taneciklerinin erime morfolojisi



Eriyen kar tanesinin yoğunluğu ρ_{ms} , suyun yoğunluğu olmak üzere ρ_w

$$\rho_{ms} = \frac{\rho_s \rho_w}{(1-f)\rho_w + f\rho_s} \quad (4)$$

eşitliğiyle hesaplanmıştır.

Erime katmanı boyunca sönümlenme $\gamma_t(z)$ ve etkin radar yansıtırlık faktörü $Z_{et}(z)$

$$\gamma_t(z)(\text{dB/km}) = 0.4343 \times 10^3 \int_{D_{w_{\min}}}^{D_{w_{\max}}} \sigma_t(D_{ms}) \left(\frac{\rho_w}{\rho_{ms}} \right)^{1/3} N_{ms}(D_w, f) dD_w \quad (5)$$

$$Z_{et}(z)(\text{dBZ}) = 10 \log \left[\frac{\lambda^4}{\pi^5} \left| \frac{\epsilon_w + 2}{\epsilon_w - 1} \right|^2 \int_{D_{w_{\min}}}^{D_{w_{\max}}} \sigma_b(D_{ms}) \left(\frac{\rho_w}{\rho_{ms}} \right)^{1/3} N_{ms}(D_w, f) dD_w \right] \quad (6)$$

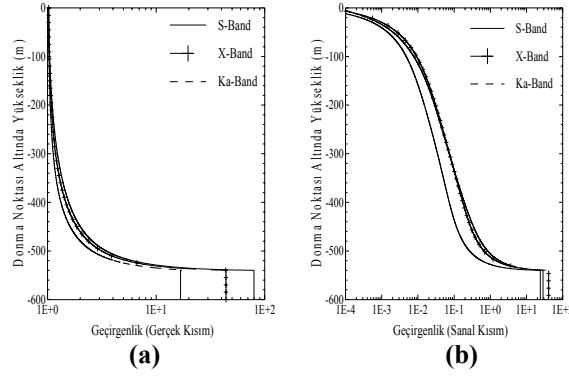
eşitlikleriyle hesaplanmıştır. Burada ϵ_w suyun geçirgenliği, λ dalgaboyu, $\sigma_t(D_{ms})$ ve $\sigma_b(D_{ms})$ sırasıyla sönümlenme ve geri saçılma tesir kesitleri olup sayısal çözümleri Mie saçılma teorisini [8] kullanan Toon-Ackerman algoritması [9] ile yapılmıştır.

3. Sonuçlar ve Tartışma

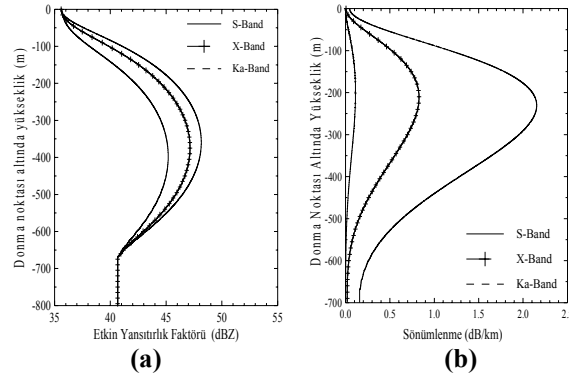
Ortalama parçacık boyutu için üç değişik frekansta hesaplanan geçirgenlikler şekil 2 de gösterilmiştir. Erime katmanının tepesinde parçacık geçirgenliği kar tanesinin geçirgenliğidir, erime süresince parçacığın yapısının değişimiyle değişir ve erime katmanının tabanında suyun geçirgenliğine eşit olur. Erime katmanı boyunca 12 mmh^{-1} lik yağış şiddeti için hesaplanan dikey yansıtırlık ve sönümlenme profilleri üç frekans bandı için karşılaştırmalı olarak şekil 3 de verilmiştir. Parçacık geçirgenliğinin en küçük olduğu erime katmanının tepesinde yansıtırlık ve sönümlenme de en küçük değeri alır. Geçirgenliğin artışıyla katmanın üst kısmında maximum

değerleri alırlar. Erime sona ererken parçacık yoğunluğu artıp parçacık sayı yoğunluğunun azalmasıyla yansıtırlık ve sönümlenme azalır ve katmanın tabanında yağmurun yansıtırlık ve sönümlenme değerine ulaşır.

Şekil 2. Eriyen kar taneciğinin geçirgenliği (a) Gerçek kısım (b) sanal kısım



Şekil 3. Erime katmanı boyunca dikey (a) Yansıtırlık (b) Sönümlenme profilleri



Frekans arttıkça yansıtırlık pik şiddeti azalırken sönümlenme pik şiddeti artmıştır. Daha yüksek frekanslarda yansıtırlık pik şiddeti giderek azalacağından parlak band gözlenmez. S-bandı için sönümlenme ihmal edilebilir. Diğer yandan frekansın artışıyla sönümlenme de artacağından, yüksek frekansla çalışan radar uzaktan algılama ve uydu haberleşme sistemlerinin dizaynında erime katmanındaki sönümlenme dikkate alınmalıdır.

Kaynaklar

- [1]. Korkmaz S.D., Radar attenuation due to melting: a comparison of physical models proposed for the melting morphology, Atmos. Res. 70, 261-274, 2004.
- [2]. Pruppacher H.R. ve Klett J.D., Microphysics of Clouds and Precipitation. Holland D. Reidel Publishing Company. 954 pp. 2000.
- [3]. Szyrmer, W. ve Zawadzki I., Modeling of the melting layer. Part I: Dynamics and microphysics. J. Atmos. Sci., 56, 3573-3592., 1999:
- [4]. Korkmaz S.D., Atmosferde buz kristallerinin erimesinin radar sinyallerine etkisi, Doktora Tezi, Osmangazi Üniversitesi, 2002.
- [5]. Mitchell D.L., Zhang R. ve Pitter R.L., Mass-dimensional relationships for ice particles and the influence of riming on snowfall rates. J. Appl. Meteor., 29, 153-163., 1990.
- [6] Ulbrich, C.W., Natural variations in the analytical form of the raindrop size distribution. J. Climate Appl., Meteor., 22, 1764-1775, 1983.
- [7] Fabry F. ve Szyrmer W., Modeling of the melting layer. Part II: Electromagnetic. J. Atmos. Sci., 56, 3593-3600, 1999.
- [8] Mie, G., Beitrage zur Optik trüber Medien Speziell Kolloidaler Metalllösungen. Ann. Phys., 25, 377-445, 1908.
- [9] Toon O.B. ve Ackerman T.P.J., Algorithms for the calculation of scattering by stratified spheres. Appl. Opt., 20, 3657-3660, 1981.