

NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA ĐỘ NHÁM BỀ MẶT TỚI KẾT QUẢ ĐO ĐỘ ẨM ĐẤT SỬ DỤNG PHỔ KẾ SIÊU CAO TẦN BĂNG L

Doãn Minh Chung¹, Mai Thị Hồng Nguyên¹, Nguyễn Thị Hải Yến³,
Huỳnh Xuân Quang¹, Đinh Ngọc Đạt¹, Võ Thị Lan Anh², Mai Tiến Dũng⁴

¹Viện Công nghệ vũ trụ, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam

²Bộ Khoa học và Công nghệ Việt Nam

³Trường Đại học Mở - Địa Chất

⁴Phân hiệu trường Đại học Tài nguyên và Môi trường Hà Nội tại tỉnh Thanh Hóa

Tóm tắt

Ngô nghiên cứu, kiểm định về sự ảnh hưởng của độ nhám bề mặt đến kết quả đo độ ẩm đất sử dụng phổ kế siêu cao tần băng L đã và đang được nhóm cán bộ Viện Công nghệ vũ trụ, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam thực hiện. Phép đo sử dụng phổ kế siêu cao tần băng L trong giải tần số trung tâm 1.4 GHz đối với đất trồng được thực hiện năm 2019. Ảnh hưởng của độ nhám bề mặt đến nhiệt độ phát xạ của đất đã được nghiên cứu thông qua việc hiệu chỉnh hệ số phản xạ Fresnel đối với đất thô nhám. Kết quả số liệu tính toán từ phổ kế siêu cao tần thể hiện sự phụ thuộc của nhiệt độ phát xạ vào độ ẩm với các độ nhám khác nhau cho thấy phù hợp với mô hình. Ngô nghiên cứu này cung cấp các số liệu thực nghiệm tính toán độ ẩm đất cho khu vực đất nông nghiệp tại Việt Nam, góp phần phát triển mô hình nghiên cứu ảnh hưởng của độ nhám tới kết quả đo độ ẩm đất sử dụng phổ kế siêu cao tần.

Từ khóa: Phổ kế siêu cao tần; Độ nhám; Độ ẩm đất

Abstract

Effect of surface roughness to soil moisture measurement using microwave radiometers band L in Vietnam

This research focused on evaluating the effect of surface roughness on soil moisture measurement using microwave band L radiometers by Space Technology Institute, Vietnam Academy of Science and Technology. Soil moisture measurement using microwave radiometers band L (1.4 GHz) was conducted in 2019. The effect of surface roughness on soil emission temperature has been studied through the correction of Fresnel reflection coefficient on rough soils. The calculation results from microwave radiometers show the dependence of the emission temperature on soil moisture with different soil roughness level. This study provides empirical data to calculate soil moisture for agricultural land in Vietnam, contributing to the development of a model to study the effect of roughness on soil moisture measurement using microwave radiometers.

Keywords: Microwave Radiometer; Roughness; Soil moisture

1. Giới thiệu

Các hệ phổ kế siêu cao tần đã chứng tỏ khả năng lớn về giám sát độ ẩm đất trên diện tích rộng hay những ứng dụng thành công trong nghiên cứu thảm thực vật, độ

mặn nước biển và khí quyển [5]. Trong đó chủ yếu là những nghiên cứu về độ phát xạ trong tính toán độ ẩm đất và sinh khối thực vật.

Việc ứng dụng phổ kế siêu cao tần và các mô hình tính toán độ ẩm đất đã cho

Nghiên cứu

thấy kết quả phù hợp với phương pháp đo khoan sậy cổ điển hay phương pháp đo độ ẩm bằng thiết bị cầm tay. Đã có những nghiên cứu và dữ liệu so sánh từ các phổ kế chuyên dụng, gắn trên xe tải và trên máy bay. Các mô hình này đã xem xét sự phát xạ từ mặt đất cho một loạt các dải độ ẩm và nhiệt độ khác nhau, đồng thời nghiên cứu các yếu tố ảnh hưởng đến sự phát xạ bề mặt đất [1, 2]. Một trong những ảnh hưởng đến kết quả đo độ ẩm phải kể đến ảnh hưởng của độ nhám bề mặt, đặc biệt với khu vực đất có độ ẩm cao. Mặc dù đã có một số nghiên cứu về ảnh hưởng độ nhám bề mặt đến kết quả đo độ ẩm, tuy nhiên các mô hình lý thuyết này khá phức tạp. Do vậy, việc nghiên cứu các mô hình bán thực nghiệm mở ra cái nhìn rõ ràng, cụ thể và dễ áp dụng hơn.

Đã có một số bài báo trình bày các mô hình lý thuyết phát xạ siêu cao tần từ đất (Njoku và Kong, 1977; Wilheit, 1978; Burke và cộng sự, 1979) [9, 4, 11]. Những mô hình này đã xem xét sự phát xạ từ đất cho một loạt nhiệt độ, độ ẩm khác nhau và nghiên cứu ảnh hưởng biến đổi của các tính chất dưới bề mặt này đến sự phát xạ đo từ bề mặt. Không bao gồm ảnh hưởng của các đặc điểm bề mặt như độ nhám. Tuy nhiên, khi so sánh các kết quả tính toán đó với các tính toán bằng phổ kế siêu cao tần có sự khác biệt khá lớn giữa nhiệt độ phát xạ được tính toán và quan sát được (T_B). Những sự khác biệt này được xác định do độ nhám bề mặt.

Mặc dù có một số nghiên cứu về lý thuyết ảnh hưởng độ nhám bề mặt đến kết quả đo độ ẩm. Tuy nhiên, đối với các độ nhám khác nhau vẫn chưa có một mô hình lý thuyết cụ thể. Một trong những mô hình có thể cho là rõ ràng nhất phải kể đến nghiên cứu từ các công thức thực nghiệm về bề mặt nhám của Choudhury [3]. Mô hình Choudhury có thể chưa cung cấp nghiêm ngặt một cách định lượng về các khía cạnh khác nhau của phát xạ siêu cao tần từ mô hình thực tế nhưng nó cung cấp bước đầu

nghiên cứu bao gồm các tác động của độ nhám trong mô hình phát xạ từ các bề mặt này. Mục đích nghiên cứu của Choudhury chỉ ra rằng các ảnh hưởng độ nhám bề mặt có thể giải thích cho những khác biệt này. Đồng thời nghiên cứu góp phần cung cấp bộ số liệu thực địa trong phân tích các yếu tố ảnh hưởng kết quả đo độ ẩm đất.

2. Phương pháp nghiên cứu

2.1. Mô tả thực nghiệm

Hệ thiết bị đo đặc phổ kế siêu cao tần băng L gồm: Máy phổ kế, nguồn điện (4A/20V), nhiệt kế điện tử, giá đỡ đặc biệt, vật liệu cách ly nhiệt (XPS) - vật hấp thụ absorber với các thông số đã biết.

Lưu ý khi đo đặc phải trên một diện tích trống lớn vị trí của phổ kế phải được đặt ở trung tâm để không bị ảnh hưởng bởi những phát xạ khác. Khu vực này không được có bất kỳ chướng ngại vật nào khác như cây, cỏ, bụi rậm, tường,...

Thiết bị chính được sử dụng trong các thực nghiệm phục vụ đề tài là phổ kế siêu cao tần băng L (L-band Noise Injection Radiometer - LNIR), với tần số trung tâm 1.41 GHz và độ nhạy $\leq 0,3$ K, được phối hợp tác chế tạo giữa Công ty điện tử QUEO - Bulgaria và Viện Công nghệ vũ trụ, với những tham số kỹ thuật chủ yếu như sau: Khối lượng 3 kg, Dải nhiệt độ đầu vào 5 - 320°K, Độ rộng băng thông 100 Mhz, Thời gian tích phân 0,2s, Giao tiếp USB Nguồn cấp 24V - 1.6A

Phép hiệu chuẩn phổ kế

Trước khi tiến hành đo độ phát xạ của một đối tượng hay môi trường, phổ kế SCT cần được chuẩn hoá. Phổ kế phải được hiệu chỉnh bằng cách đo điện áp của bầu trời (không mây) và vật đen tuyệt đối. Mục đích của hiệu chuẩn là thiết lập mối quan hệ giữa tín hiệu ra của phổ kế (điện áp) và nhiệt độ phát xạ của đối tượng đo [4].

Sau khi có đường chuẩn, nhiệt độ phát xạ của 1 đối tượng bất kỳ sẽ được xác định

dựa vào tín hiệu điện áp ra của phổ kế và đường chuẩn theo công thức sau:

$$T_b = T_s + \frac{(U - U_s)(T_a - T_s)}{U_a - U_s} \quad (1)$$

Trong đó, U, U_s, U_a lần lượt là điện áp ra của đối tượng, bầu trời xanh, absorber; T_s, T_a lần lượt là nhiệt độ của bầu trời; absorber. Các số đọc từ 10 giây cuối cùng của mỗi phép đo được tính trung bình và được viết trong bảng Excel được xuất, lưu trong máy tính.

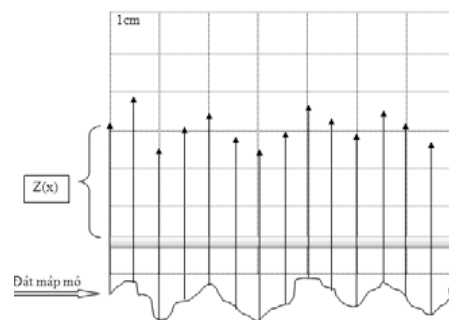
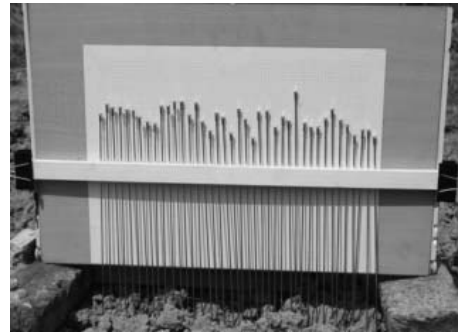
Thực nghiệm được tiến hành tại Trạm khí tượng nông nghiệp Hoài Đức, Hà Nội vào tháng 9/2019, nhằm nghiên cứu nhiệt độ phát xạ của một số môi trường khác nhau và ảnh hưởng độ nhám bề mặt đến phép đo độ ẩm đất.

Một khu đất trống có diện tích khoảng $4 \times 4 \text{ m}^2$, nằm cách xa nhà cửa và các máy móc gây nhiễu. Ban đầu, để tạo khu vực giống với đất nông nghiệp canh tác, đất đo được cày xới, đập nhỏ, loại bỏ cây che phủ và có khu vực phân luống.

Thiết bị đo là phổ kế siêu cao tần băng L được gắn trên các giá đỡ và đặt tại các vị trí cần đo. Sau khi phổ kế được hiệu chỉnh bằng cách đo độ phát xạ của bầu trời (không mây) và vật đen tuyệt đối, phép đo đối tượng cho thấy nhiệt độ phát xạ của vùng đất trống đo ở tần số là 1,4 GHz theo phân cực ngang. Sau khi phổ kế được chuẩn hoá, anten được hướng vào vùng đất cần đo và phép đo nhiệt độ phát xạ của đất được tiến hành. Tín hiệu ra điện áp ADC thu được để chuyển đổi thành nhiệt độ phát xạ T_B . Phép đo tiến hành thu thập số liệu lần lượt của phổ kế theo sự thay đổi về độ ẩm, độ nhám với góc đo của phổ kế được cố định tại vị trí vuông góc với mặt đất.

Các đặc điểm độ nhám bề mặt là những kết quả từ thực tiễn nông nghiệp của hai khu vực. Phương pháp tưới ngập nước và cải tạo đất theo luống. Vách ngăn

các luống dài khoảng một mét và chiều cao luống khoảng 15 cm. Chồng lên các nếp gấp này là các cục, thường nhỏ hơn 5 cm [10].



Hình 1: Hệ đo độ lệch chiều cao

Ban đầu đo đất khô với hiện trạng đất có sẵn, sau đó, đập nhỏ đất theo các độ nhám khác nhau. Để tạo ra sự biến đổi độ ẩm, đất được tưới đẫm bằng vòi phun, trong quá trình đo, đất sẽ khô đi một cách tự nhiên. Song song với phép quan trắc viễn thám, nhiệt độ vật lý của không khí và của đất T_s ở dưới bề mặt đất 0 - 2,5, 0 - 5, 5 - 10 cm cũng được đo riêng rẽ bằng một nhiệt kế điện tử. Các mẫu đất được lấy lên từ một số lỗ khoan nhỏ trong vùng đo nhằm xác định tỷ trọng của đất, thành phần cát, sét và độ ẩm tỷ trọng của đất (m_g) ở các độ sâu mặt cắt 0 - 5 cm, 5 - 10 cm bằng phương pháp “khoan sấy” trước và sau khi tưới [8].

Đồng thời, một hệ dụng cụ đo độ mấp mô trung bình bề mặt đất cũng đã thiết lập, trên đó là một khung lưới bằng kê ô vuông với kích thước $1 \times 1 \text{ cm}$ mỗi ô cho sẵn, sau đó đánh dấu các điểm nhấp nhô lên xuống với từng đối tượng mấp mô của đất khác nhau.

2.2. Nghiên cứu mô hình tính độ ẩm đất có ảnh hưởng bởi độ nhám bề mặt

2.2.1. Mô hình phát xạ của đất (Mô hình Fresnel)

Đối với trường hợp phát xạ đơn giản nhất của mặt đất: khi môi trường đất đẳng nhiệt, đồng nhất, với bề mặt tiếp giáp (không khí - đất) là mặt phẳng. T_s là nhiệt độ vật lý của đất, $e_p(\theta)$ là độ phát xạ phân cực p của bề mặt đất (h, v - phân cực ngang và thẳng đứng). Độ phát xạ $R_p(\theta)$ có thể được tính toán bằng các phương trình Fresnel [6, 7] đối với phân cực dọc (2a) và phân cực ngang (2b)

$$R_h(\theta) = \left| \frac{\cos\theta - \sqrt{\varepsilon - \sin^2\theta}}{\cos\theta + \sqrt{\varepsilon - \sin^2\theta}} \right|^2, \quad (2a)$$

$$R_v(\theta) = \left| \frac{\varepsilon \cos\theta - \sqrt{\varepsilon - \sin^2\theta}}{\varepsilon \cos\theta + \sqrt{\varepsilon - \sin^2\theta}} \right|^2. \quad (2b)$$

2.2.2. Mô hình hằng số điện môi Wang-Schmugge

Ở một tần số cho trước, hằng số điện môi e của đất là hàm của độ ẩm đất, mật độ khối, thành phần kết cấu đất, nhiệt độ đất và độ mặn, trong đó độ ẩm đất ảnh hưởng lớn nhất đến ε . Mô hình Wang-Schmugge [5, 6] quan niệm hằng số điện môi của đất là một số phức, bao gồm phần thực và phần ảo:

$$e = e' + i.e'' \quad (3)$$

Bằng thực nghiệm, Wang-Schmugge đã nhận thấy, khi độ ẩm đất m_v nhỏ hơn một giá trị xác định, gọi là độ ẩm chuyển tiếp W_t , thì e' của đất tăng chậm theo độ ẩm đất, nhưng khi $m_v > W_t$ thì e' tăng đột biến theo độ ẩm đất. Sự phụ thuộc này được biểu hiện thông qua các phương trình hỗn hợp bao hàm đóng góp của các phần tử đất, không khí, và nước như sau:

Khi $m_v < W_t$:

$$\varepsilon = m_v \varepsilon_x + (P - m_v) \varepsilon_a + (1 - P) \varepsilon_r, \quad (4)$$

với

$$\varepsilon_x = \varepsilon_i + (\varepsilon_w - \varepsilon_i)(m_v / W_t) \gamma \quad (5)$$

và khi $m_v > W_t$:

$$\varepsilon = W_t \varepsilon_x + (m_v - W_t) \varepsilon_w + (P - m_v) \varepsilon_a + (1 - P) \varepsilon_r \quad (6)$$

$$\text{với } \varepsilon_x = \varepsilon_i + (\varepsilon_w - \varepsilon_i) \gamma. \quad (7)$$

ở đây, m_v (g/cm^3) là độ ẩm thể tích của đất, P là độ xốp của đất khô; ε_a , ε_w , ε_r , và ε_i lần lượt là hằng số điện môi của không khí, nước, đất đá, và băng; ε_x là hằng số điện môi của nước hấp thụ ban đầu; W_t là độ ẩm chuyển tiếp và γ là tham số thực nghiệm.

Độ xốp P của đất khô được định nghĩa như sau:

$$P = 1 - (\rho_s / \rho_r) \quad (8)$$

trong đó ρ_s là tỷ trọng của đất khô và ρ_r là tỷ trọng của các hạt rắn liên kết thành khối đất.

W_t và γ và độ ẩm khô héo WP được tính như sau:

$$\gamma = -0.57WP + 0.481 \quad (9)$$

$$W_t = 0.49WP + 0.165. \quad (10)$$

$$WP = 0.06774 - 0.00064SF + 0.00478CF, \quad (11)$$

trong đó SF và CF là nồng độ % cát và sét của đất khô.

Các mô hình tính toán trên đây được ứng dụng đối với bề mặt đất trồng, bằng phẳng, đồng nhất. Trong thực tế, bề mặt đất thường nhám và bị phủ một lớp thực vật. Vì vậy, để thu được kết quả chính xác, cần có các phép hiệu chỉnh kết quả đo.

2.2.3. Hiệu chỉnh độ rấp bề mặt đất

Trong thực tế, bề mặt đất thường gồ ghề. Khi ấy các biểu thức về độ phản xạ của đất phải thay đổi. Choudhury và các đồng nghiệp đã đưa ra một mô hình dùng tham số độ gồ ghề bề mặt h , với độ lệch chuẩn bề mặt σ để hiệu chỉnh độ phản xạ bề mặt độ gồ ghề:

$$R_p(\theta) = R_p(\theta) \exp(-h \cos^2 \theta) \quad (12)$$

trong đó $R_p(\theta)$ là độ phản xạ Fresnel

(nhấn) được cho bởi công thức (12) và tham số độ gồ ghề h được tính như sau:

$$h = 4k^2 \sigma^2 = 4 \left(\frac{2\pi}{\lambda} \right)^2 \cdot \sigma^2 \quad (13)$$

Với độ mấp mô bề mặt được xác định bằng công thức cho vị trí đất có độ cao Z(x):

$$\sigma^2 = \frac{1}{n} \sum (Z(x) - \langle Z(x) \rangle)^2 \quad (14)$$

Phương pháp viễn thám siêu cao tần thụ động dựa trên việc đo nhiệt độ phát xạ của đối tượng bằng phổ kế siêu cao tần, sau đó áp dụng có mô hình vật lý tính toán những đại lượng cần khảo sát.

3. Kết quả thực nghiệm và thảo luận

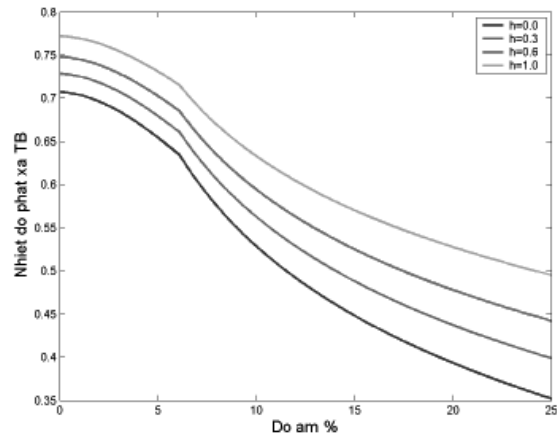
3.1. Kết quả tính toán mô hình bán thực nghiệm

Ở cùng một khu vực đất, với các giá trị thành phần và đặc tính đất giống nhau về tỷ trọng đất, phần trăm cát, sét trong đất. Giả định cho các giá trị độ ẩm đất khác nhau, áp dụng mô hình Wang-Schmugge cho trường hợp bề mặt nhấn (h = 0) ta tính được hằng số điện môi đất và hệ số phản xạ Fresnel (R), từ đó tính được độ phát xạ (e = 1 - R).

Một khu vực đất được đo ở nhiệt độ $T_s = 300K$, được phân tích biết thành phần cơ giới, tỉ trọng, phần trăm cát, sét. Sử dụng chương trình Matlab biểu diễn đồ thị mối liên quan giữa độ phát xạ mặt đất và độ ẩm cho cùng một khu vực nghiên cứu, với nhiệt độ vật lý đất như nhau, cho các độ nhấn khác nhau, ta xác lập được

mối liên hệ giữa độ phát xạ và độ ẩm đất có tính đến ảnh hưởng độ nhấn bề mặt h được biểu thị ở hình dưới đây.

Hình dáng đường cong cho thấy, độ phát xạ giảm chậm với độ ẩm đất khoảng trung bình 10%, và giảm mạnh khi độ ẩm lớn hơn giá trị này. Khi độ ẩm thấp độ phát xạ giảm chậm theo độ ẩm đất khi độ ẩm tăng đến 1 ngưỡng W (người ta gọi đó là ngưỡng khô héo) thì độ phát xạ giảm nhanh theo độ ẩm. Đồng thời, đường cong đồ thị với đất phẳng (h = 0) dốc hơn so với đường cong đồ thị cho đất độ nhấn (h > 0). Khi độ nhấn h tăng thì độ dốc của độ phát xạ theo độ ẩm giảm. Điều đó cũng thể hiện, ảnh hưởng của bề mặt nhấn là làm tăng độ phát xạ và với trường hợp đất ướt mức ảnh hưởng này lớn hơn.



Hình 2: Mối liên quan giữa độ phát xạ và độ ẩm đất có ảnh hưởng độ nhấn

Tại thời điểm nhiệt độ vật lý của đất $T_0 = 300K$ (27°C), ta xác định được nhiệt độ phát xạ T_B , từ đó tính được độ phản xạ bề mặt đất. Tương ứng với các độ nhấn khác nhau h = 0,3, 0,6, 1 ta có bảng giá trị sau:

Bảng 1. Nhiệt độ phát xạ T_B với các độ nhấn khác nhau ở $T_0 = 300K$

	Độ ẩm SM (%)	Hệ số phản xạ cho bề mặt nhấn R_{op}	h=0	h=0,3	h=0,6	h=1
T_B Đất khô	0	0,05	285	290	293	297
T_B Đất ướt	25	0,31	208	231	248	266
$\Delta T_B = [T_B(\text{đất khô}) - T_B(\text{đất ướt})]$			77	69	53	31

Nghiên cứu

Nhận thấy, với độ nhám khác nhau, độ chênh lệch nhiệt độ phát xạ giữa đất khô và đất ướt có xu hướng giảm đáng kể. Đối với bề mặt nhẵn $h = 0$, giá trị nhiệt độ phát xạ T_B giảm nhiều hơn khi độ ẩm lớn hơn (độ chênh lệch nhiệt độ phát xạ $\Delta T_B = 77K$). Với $h = 1$, $\Delta T_B = 31K$. Điều đó cho thấy có sự ảnh hưởng và sự khác biệt về giá trị đo nhiệt độ phát xạ đối với

phép đo ước tính độ ẩm đất sử dụng phổ kế siêu cao tần với các giá trị tham số h khác nhau.

Sự chênh lệch về giá trị T_B giữa đất ướt và đất khô được trình bày trong Bảng 2. Ở $\theta=0$, sự gia tăng độ phát xạ do độ nhám được cho bởi:

$$\Delta e = R_{op}[1 - \exp(-h)]$$

Bảng 2. Độ chênh lệch nhiệt độ phát xạ với độ nhám khác nhau ở cùng độ ẩm

Độ ẩm	$\Delta e = R_{op(h=1)} - R_{op(h=0)}$	$e_{Rop(h=0)}$	$e_{Rop(h=1)}$	$T_B(h=0)$	$T_B(h=1)$	$T_B(h=1) - T_B(h=0)$
Đất khô 0%	0,038	0,950	0,988	285	297	12
Đất ướt 25%	0,194	0,695	0,889	208	266	58

Khi R_{op} nhỏ, ví dụ, đối với đất khô, Δe sẽ nhỏ, ví dụ, $\Delta e = 0,038$ đối với đất khô. Bảng 2 cho thấy, với sự chênh lệch nhiệt độ phát xạ giữa đất nhám và đất phẳng là 12K ($T_B(h=1) - T_B(h=0) = 297 - 285$). Đối với đất ẩm hơn, sự chênh lệch nhiệt độ phát xạ lớn hơn, cho thấy ảnh hưởng của độ nhám bề mặt tới phép đo nhiều hơn. Ở độ ẩm 25%, độ phát xạ Δe tăng, với $\Delta e =$

0,194 tương ứng với nhiệt độ phát xạ tăng 58K (266 - 208K).

3.2. Xử lý số liệu đo độ ẩm đất với độ nhám khác nhau

Các phép đo được thực hiện sử dụng phổ kế siêu cao tần băng L tần số 1.4Ghz với tín hiệu ra điện áp ADC: U, U_s, U_A , đồng thời đo nhiệt độ absorber, nhiệt độ vật lý đất, tính được nhiệt độ phát xạ của T_B của đất.

Bảng 3. Kết quả đo điện áp và tính toán nhiệt độ phát xạ T_B

Absorber	Bluesky	Đất khô(K)	Đất ướt(K)		
Tab _s = 321	Tsky=5	$T_s=328,15$	$T_s=308,15$		
ADCabs	ADCsky	ADCdry	ADCwet	T_B đất khô-1	T_B đất ướt-1
0,156	0,896	0,1890	0,2786	264,8239	229,5107
0,1604	0,8881	0,1819	0,2601	265,4468	236,4035
0,1697	0,8768	0,1849	0,2655	264,3482	234,3938
0,1665	0,8427	0,1793	0,2651	266,4143	234,5269
0,1515	0,8950	0,1849	0,2721	264,3423	231,917
0,166	0,8985	0,1769	0,2746	266,3115	231,0169

Bảng 4. Kết quả phân tích thành phần cơ giới đất tại Trạm khí tượng nông nghiệp Hoài Đức

Tầng đất	Hàm lượng cát (%)	Hàm lượng limon (%)	Hàm lượng sét (%)	Dung trọng (g/cm ³)
0 - 5 cm	58	25,9	16,1	1,00
5 - 10 cm	56,3	25,1	16,6	1,06

Đồng thời các mẫu đất được lấy để phân tích về thành phần cơ giới, dung trọng và độ ẩm đất ở các độ sâu và độ ẩm khác nhau tại Trạm khí tượng nông nghiệp Hoài Đức, Hà Nội.

Các giá trị độ ẩm đo được (bằng phương pháp khoan sấy được cung cấp

bởi trạm khí tượng nông nghiệp Hoài Đức. Các giá trị tính toán thu được bằng cách sử dụng phổ kế siêu cao tần với các thông số tại cùng vị trí, thời gian và nhiệt độ tại thời điểm đo. Trong cả ba trường hợp với độ nhám khác nhau, cả hai bộ mẫu số liệu đều cho dạng đường cong hiển thị khá phù hợp

với đường cong lý thuyết (Hình 2). Tuy nhiên có sự khác biệt ở mức độ ẩm trung bình khoảng 15%. Theo nhận định, mức độ ẩm trung bình là khu vực mà T_B thay đổi nhanh nhất, đây cũng là khu vực có xu hướng độ ẩm đất thay đổi nhanh nhất.

Kết quả từ các phép đo được trình bày các bảng dưới đây cho các khu vực có độ nhám bề mặt khác nhau: đất thô nhám ($h = 0,6$), đất thô nhám trung

bình ($h = 0,3$) và đất phẳng ($h = 0$). Với $T_{abs}(K)$, $T_{sky}(K)$, T_s lần lượt là nhiệt độ absorber đo được, nhiệt độ bầu trời với $T_{sky}(K) = 5K$, nhiệt độ vật lý của đất tại thời điểm đo. $T_{B_{ADCabs}}$, $T_{B_{ADCsky}}$, $T_{B_{đất}}$, T_{Be} lần lượt là các giá trị trung bình của điện áp ra của absorber, điện áp ra bầu trời (sky), nhiệt độ phát xạ đất (T_B) thu được bằng phổ kế siêu cao tần băng L, độ phát xạ (e), và độ ẩm W_c tính toán được.

Bảng 5. Kết quả thực nghiệm tính toán nhiệt độ phát xạ T_B và độ ẩm đất W_c với $T_s = 35^\circ C$, nhiệt độ Absorber $T_{abs} = 48^\circ C$ với đất phẳng $h = 0$

Absorber	Bluesky			
$T_{abs}(K)=321$	$T_{sky}(K)=5$	$T_s(K)=308.15$	h=0	$W_c=28\%$
$T_{B_{ADCabs}}$	$T_{B_{ADCsky}}$		TB đất	TBe
0,17129	0,9251		277,836	0,90162
ADCabs	ADCsky	ADCwet	T_B	e
0,151608	0,888119	0,270277	279,505	0,90704
0,198934	0,91133	0,270911	279,24	0,90618
0,197417	0,935222	0,279884	275,478	0,89397
0,157935	0,924573	0,279777	275,523	0,89412
0,170194	0,939075	0,27661	276,851	0,89843

Bảng 6. Kết quả thực nghiệm tính toán nhiệt độ phát xạ T_B và độ ẩm đất W_c với $T_s = 40^\circ C$, $T_{abs} = 50^\circ C$ với đất nhám có $h = 0,3$

Absorber	Bluesky		h = 0,3	$W_c = 11\%$
$T_{abs}(K)=323$	$T_{sky}(K)=5$	$T_s(K)313,15$		
$T_{B_{ADCabs}}$	$T_{B_{ADCsky}}$		TB đất	TBe
0,1608	0,89268		278,212	0,88843
ADCabs	ADCsky	ADCwet	T_B	e
0,16484	0,894032	0,263674	278,301	0,90313
0,160903	0,825425	0,268704	276,115	0,89604
0,16078	0,858672	0,271867	274,741	0,89158
0,160651	0,870345	0,250605	283,979	0,92156
0,158263	0,910447	0,253066	282,91	0,91809
0,161135	0,915669	0,26149	279,25	0,90621

Bảng 7. Kết quả thực nghiệm tính toán nhiệt độ phát xạ T_B và độ ẩm đất W_c với $T_s = 40^\circ C$, $T_{abs} = 50^\circ C$ với đất nhám có $h = 0,6$

Absorber	Bluesky		h = 0,6	$W_c=18\%$
$T_{abs}(K)= 323$	$T_{sky}=4$	$T_s(K)=313.15$		
$T_{B_{ADCabs}}$	$T_{B_{ADCsky}}$		TB đất	TBe
0,15676	0,90063		275,87	0,88095
ADCabs	ADCsky	ADCwet	T_B	e
0,161746	0,897601	0,26454	276,923	0,89866
0,155685	0,919601	0,263311	277,449	0,90037
0,156818	0,902528	0,260025	278,853	0,90493
0,15819	0,895964	0,262925	277,614	0,9009
0,155025	0,914761	0,271433	273,977	0,8891
0,154452	0,900664	0,272038	273,718	0,88826

Nghiên cứu

Các giá trị của σ cho các khu vực đo được liệt kê cùng với các giá trị tính toán được bằng cách sử dụng các giá trị quan sát của h . Tại khu vực thực nghiệm, cho các mẫu đất M1, M2, M3, M4 với độ thô, mịn khác nhau, ta đo được độ cao bề mặt đất $Z(x)$.

Bảng 8. Kết quả tính toán độ nhám bề mặt với các mẫu đất khác nhau, thực nghiệm đo đạc độ cao bề mặt $Z(x)$ của mẫu M1 tính được giá trị $h = 0$

Mẫu M1	$Z_{tb} = \langle Z(x) \rangle = 4.42$	$h = 0$	$\sigma^2 = 0,1$
	Độ cao bề mặt $Z(x)$	$Z - Z_{tb}$	$(Z - Z_{tb})^2$
1	4,1	-0,32	0,1024
2	5	0,71	0,5041
3	4,8	0,51	0,2601
4	4	-0,29	0,0841
5	4,4	0,11	0,0121
6	4,6	0,31	0,0961

Bảng 9. Kết quả tính toán độ nhám bề mặt với các mẫu đất khác nhau, thực nghiệm đo đạc độ cao bề mặt $Z(x)$ của mẫu M2 tính được giá trị $h = 0,3$

Mẫu M2	$Z_{tb} = \langle Z(x) \rangle = 4.53$	$h = 0,3$	$\sigma^2 = 0,7$
	Độ cao bề mặt $Z(x)$	$Z - Z_{tb}$	$(Z - Z_{tb})^2$
1	3,8	-0,0175	0,0003063
2	1,8	-2,0175	4,0703063
3	4,9	1,0825	1,1718063
4	3,6	-0,2175	0,0473062
5	1,2	-2,6175	6,8513063
6	4,5	0,6825	0,4658063

Bảng 13. $h = 0$, nhiệt độ $T_s = 35^\circ C$

TB(K)	286,96	277,83	265,47	254,98	236,19	218,03	199,03
e	0,928	0,904	0,86	0,815	0,768	0,708	0,645
Wc_Cal(PKSCT)	4	8	12	16	19	24	30
Wc_Mea(KTNN)	5	10	13	15	20	26	29

Bảng 14. $h = 0,3$, nhiệt độ $T_s = 40^\circ C$

TB(K)	295,8	289,97	278,21	263,47	248,37	241,59	231,9
e	0,096	0,941	0,88	0,855	0,806	0,784	0,752
Wc_Cal(PKSCT)	2	5	11	17	22	24	28
Wc_Mea(KTNN)	3	6	13	15	20	26	30

Bảng 15. $h = 0,6$, nhiệt độ $T_s = 40^\circ C$

TB(K)	300	296,87	289,98	284,65	275,87	264,6	255,22
e	0,962	0,948	0,926	0,909	0,881	0,845	0,815
Wc_Cal(PKSCT)	3	7	11	13	18	23	29
Wc_Mea(KTNN)	2	5	8	16	20	26	28

Bảng 10. Kết quả tính toán độ nhám bề mặt với các mẫu đất khác nhau, thực nghiệm đo đạc độ cao bề mặt $Z(x)$ của mẫu M3 tính được giá trị $h = 0,6$

Mẫu M3	$Z_{tb} = \langle Z(x) \rangle = 3.82$	$h = 0,6$	$\sigma^2 = 1.8$
	Độ cao bề mặt $Z(x)$	$Z - Z_{tb}$	$(Z - Z_{tb})^2$
1	3,0	-0,8	0,7
2	5,0	1,2	1,4
3	4,8	1,0	1,0
4	4,9	1,1	1,2
5	4,5	0,7	0,5
6	4,5	0,7	0,5

Bảng 11. Kết quả tính toán độ nhám bề mặt với các mẫu đất khác nhau, thực nghiệm đo đạc độ cao bề mặt $Z(x)$ của mẫu M4 tính được giá trị $h = 0,45$

Mẫu M4	$Z_{tb} = 4.82$	$h = 0,45$	$\sigma^2 = 1.26$
	Độ cao bề mặt $Z(x)$	$Z - Z_{tb}$	$(Z - Z_{tb})^2$
1	7,8	3,9825	15,86031
2	4,9	1,0825	1,171806
3	3,6	-0,218	0,047306
4	1,2	-2,618	6,851306
5	4,5	0,6825	0,465806
6	5,8	1,9825	3,930306

Bảng 12. Tổng hợp giá trị độ nhám và độ mập mô bề mặt khác nhau

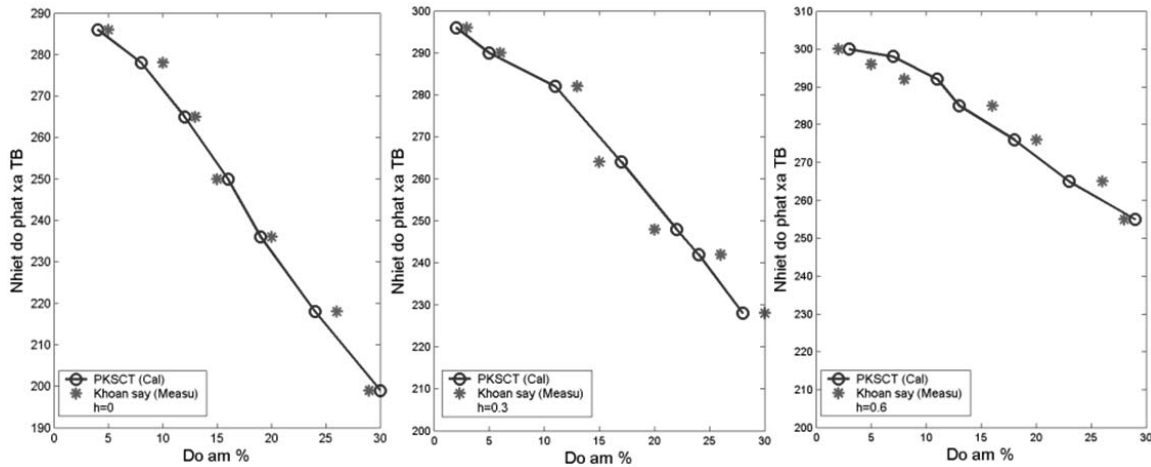
h	0	0,3	0,45	0,6
σ^2	0,1	0,7	1,26	1,8

Quan sát giá trị độ nhám h và độ mấp mô trung bình bề mặt σ^2 hiển thị sự thay đổi độ nhám và σ^2 tương quan với nhau. Tuy nhiên giá trị độ nhám h tăng nhưng không tăng nhanh như đối với giá trị σ^2 .

Kết quả tính độ ẩm bằng phổ kế siêu cao tần bằng L sử dụng mô hình Wang-Schmugge cho kết quả khá phù hợp với kết quả đo độ ẩm được phương pháp cổ điển. Các bảng dưới đây hiển thị độ ẩm

đất với độ nhám khác nhau, nhiệt độ vật lý đất T_s , độ ẩm W_c_Cal (PKSCT) được tính toán sử dụng phổ kế siêu cao tần bằng L , độ ẩm W_c_Mea (KTNN) đo được bằng phương pháp khoan sáy

Kết quả dữ liệu đo đạc được thể hiện trong các đồ thị bên dưới với $h = 0, h = 0,6, h = 0,3$ cho thấy là phù hợp với đường cong Hình 2.



Hình 3: Nhiệt độ phát xạ và độ ẩm đất với bề mặt nhẵn ($h = 0$) ($h = 0,3$) ($h = 0,6$)

Khi quan sát đồ thị ta thấy sự thay đổi của nhiệt độ phát xạ T_B với độ ẩm đất với ba độ nhám khác nhau: đất nhẵn ($h = 0$), nhám trung bình ($h = 0,3$) và nhám ($h = 0,6$). Nhận thấy nhiệt độ phát xạ T_B tỷ lệ nghịch với độ ẩm đất, kết quả phù hợp với đường biểu diễn mối liên quan của độ phát xạ và độ ẩm đất (Hình 2). Giá trị T_B đều giảm tuyến tính của với độ ẩm đất và tại độ ẩm trung bình (khoảng 10%) trở đi, T_B giảm mạnh khi độ ẩm tăng, còn khi độ ẩm thấp, T_B có giảm nhưng không nhiều. Đó cũng là lý do giải thích cho hình dạng, độ dốc đường cong các đồ thị khác nhau

với độ nhám khác nhau. Điều đó khẳng định của độ nhám bề mặt có ảnh hưởng tới phép đo phát xạ và độ ẩm đất.

Cũng trong nghiên cứu này, sử dụng phổ kế siêu cao tần bằng L đo đạc, tính toán nhiệt độ phát xạ (T_B) và các phép đo độ ẩm đất được thực hiện tại các độ sâu khác nhau 0 - 5 cm, 5 - 10 cm.

Nhiệt độ phát xạ T_B và độ ẩm đất tính toán được W_c (PK_Cal) được thể hiện trong bảng 16 với độ nhám $h = 0,45$ cm. Tầng đất 0 - 5 cm cũng được lấy mẫu khoan sáy để đo độ ẩm W_c (Measure) và thành phần đất (bảng 16).

Bảng 16. Dữ liệu tính toán với tầng đất 0 - 5 cm

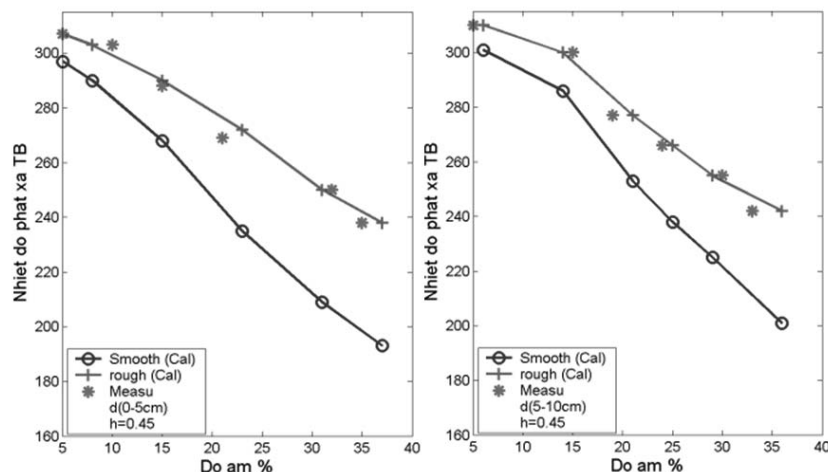
0 - 5cm	$T_s = 50$					
TB($h = 0$)	297,30	290,51	268,54	235,25	209,40	193,57
$e(h = 0)$	0,92	0,90	0,83	0,73	0,65	0,60
TB($h = 0,45$)	306,99	303,11	287,60	238,54	249,79	238,38
$e(h = 0,45)$	0,95	0,94	0,89	0,83	0,77	0,74
W_c (PK_Cal)	5	8	15	23	31	37
W_c (Measure)	6	10	16	20	32	35

Bảng 17. Dữ liệu tính toán với tầng đất 5 - 10 cm

5 - 10cm	Ts = 55					
TB(h = 0)	301,24	276,30	248,74	233,97	219,86	200,50
e(h = 0)	0,92	0,84	0,76	0,71	0,67	0,61
TB(h = 0,45)	310,43	294,02	277,65	266,13	258,91	246,44
e(h = 0,45)	0,95	0,90	0,85	0,81	0,79	0,75
WC(PK_Cal)	6	14	21	25	29	36
WC(Measure)	5	12	23	26	28	35

Nhiệt độ phát xạ T_B và độ ẩm đất tính toán được W_c (PK_Cal) được thể hiện trong Bảng 17 với độ nhám $h = 0,45$ cm. Tầng đất 5 - 10 cm cũng được lấy mẫu khoan sấy để đo độ ẩm W_c (Measure) và thành phần đất (bảng 17).

Đồ thị tương ứng biểu diễn mối liên hệ giữa nhiệt độ phát xạ T_B và độ ẩm đất đã được và tính toán được được thể hiện dưới đây:



Hình 4: Nhiệt độ phát xạ và độ ẩm đất với bề mặt nhám của tầng đất 0 - 5 cm, 5 - 10 cm

Kết quả đo độ ẩm đất bằng phổ kế siêu cao tần phù hợp với kết quả đo bằng phương pháp khoan sấy cổ điển với lớp đất 0 - 5 cm hoặc 5 - 10 cm cho đối tượng đất nhám.

Quan sát sự thay đổi của T_B với độ ẩm của đất trong hai lớp, nhận thấy T_B tỷ lệ nghịch với độ ẩm đất, phù hợp với đường biểu diễn ảnh hưởng của độ phát xạ và độ ẩm đất. Ở trong lớp 0 - 5 cm, T_B có xu hướng giảm tuyến tính của với độ ẩm đất. Còn đối với các lớp 5 - 10 cm ở độ ẩm đất thấp (khoảng độ ẩm trung bình dưới 15%), ít có sự biến đổi của T_B , tuy nhiên trên mức này giá trị T_B có sự giảm mạnh. Điều này tương tự như trong 3. Có thể thấy, khoảng cách độ rộng đường cong (đất nhẵn và đất nhám) ở lớp 0 - 5 cm là lớn hơn so với mẫu đất 5 - 10 cm, điều đó cho thấy độ nhám có ảnh hưởng đến kết quả phép đo độ ẩm đất.

Từ những kết luận thực nghiệm có thể chỉ ra rằng, bề mặt nhám làm tăng hệ số phản xạ của bề mặt vật thể. Vì độ nhám làm tăng diện tích hiệu dụng bề mặt. Độ nhám cũng làm giảm độ nhạy của sự phát xạ đối với sự thay đổi của độ ẩm của đất. Do đó làm giảm biên độ thay đổi của hệ số phát xạ đối với độ ẩm đất.

4. Kết luận

Ứng dụng phổ kế siêu cao tần bằng L nghiên cứu ảnh hưởng độ nhám bề mặt đến phép đo độ ẩm đất được thực hiện bởi nhóm nghiên cứu của Viện Công nghệ Vũ trụ, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam. Mối liên hệ giữa nhiệt độ phát xạ với độ ẩm đất có độ nhám khác nhau cũng đã được trình bày. Kết quả tính độ ẩm bằng phổ kế siêu cao tần bằng L sử dụng mô hình Wang-Schmugge cũng đã cho kết quả khá phù hợp với kết quả độ

âm đo được bằng phương pháp khoan sấy cổ điển. Từ các bảng đồ thị ta có thể thấy sai số chênh lệch giá trị độ ẩm giữa hai phép đo này không quá 3%.

So sánh đường biểu diễn phép đo bằng phổ kế siêu cao tần với phương pháp tính theo mô hình (đường lý thuyết Hình 2), ta thấy chúng có cùng hình dạng đường cong và độ dốc khác nhau với độ nhám khác nhau. Khi độ ẩm đất thấp, độ phát xạ giảm chậm theo độ ẩm đất. Khi độ ẩm đất tăng đến 1 ngưỡng (người ta gọi đó là ngưỡng khô héo) (khoảng 10 - 15%) thì độ phát xạ hay nhiệt độ phát xạ giảm nhanh theo độ ẩm. Ảnh hưởng của bề mặt nhám là làm tăng độ phát xạ và với trường hợp đất ướt mức ảnh hưởng này lớn hơn.

Nhiệt độ phát xạ (T_B) tỷ lệ nghịch với độ ẩm đất của cả hai lớp độ sâu khác nhau. Ở trong lớp 0 - 5 cm, T_B có xu hướng giảm tuyến tính của với độ ẩm đất. Còn đối với các lớp 5 - 10 cm ở độ ẩm đất thấp (khoảng độ ẩm trung bình dưới 15%), ít có sự biến đổi của T_B , tuy nhiên trên mức này giá trị T_B có sự giảm mạnh. Đối với đất ở những độ sâu này, cũng có kết quả tương tự cho thấy độ nhám có ảnh hưởng đến kết quả phép đo độ ẩm đất.

Từ những kết luận thực nghiệm có thể chỉ ra rằng, bề mặt nhám làm tăng hệ số phản xạ của bề mặt vật thể. Vì độ nhám làm tăng diện tích hiệu dụng bề mặt. Độ nhám cũng làm giảm độ nhạy của sự phát xạ đối với sự thay đổi của độ ẩm của đất. Do đó làm giảm biên độ thay đổi của hệ số phát xạ đối với độ ẩm đất.

Các kết quả trên cung cấp các bằng chứng thực nghiệm để định lượng ảnh hưởng của độ nhám tới kết quả đo độ ẩm đất nhằm hỗ trợ việc phân tích, đánh giá dữ liệu khi đặt phổ kế gắn trên máy bay.

Lời cảm ơn: Chúng tôi xin gửi lời cảm ơn đến Viện Công nghệ vũ trụ, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam đã tạo mọi điều kiện thuận lợi cho đề tài mã số NVCC34.01/19-19 thực hiện thành công. Tác giả xin cảm ơn nhóm cán bộ thực hiện đề tài VT-UD.03/17-20 đã

hỗ trợ kỹ thuật, đo đạc và thu thập dữ liệu trong quá trình thực nghiệm.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Ament, W. S., (1953). *Towards a theory of reflection by a rough surface*. Proc. IRE, 41, 142 - 146.
- [2]. Bell, K. R., B. J. Blanchard, T. J. Schmugge, and M. W. Witzak (1979). *Analysis of surface moisture variations within large field sites*. NASA Tech. Memo. 80264
- [3]. B.J. Choudhury, T.J. Schmugge, R.W (1979). *Newton: "Effect of surface roughness on microwave emission of soils"*, J.Geophys. Res, vol.84, pp 5699 - 5706.
- [4]. Burke, W. J., T. J. Schmugge, and J. F. Parris (1979). *Comparison of 2.8 and 2 l-cm microwave radiometer observations over soils with emission model calculations*, J. Geophys. Res., 84, 287 - 294.
- [5]. Jackson, T.J., Schmugge, T.J., (1989). *Passive microwave remote sensing system for soil moisture: some supporting research*. IEEE Trans. Geosci.Remote Sensing 27, 225 - 235.
- [6]. J.R.Wang & T.J. Schmugge (1980). *An empirical model for the complex dielectric permittivity of soil as a function of water content*. IEEE Trans.Geosci.Remote Sensing, Vol.GE-18, pp.288 - 295.
- [7]. J.R.Wang, T. Schmugge, and D. Williams (1978). *Dielectric constants of soil microwave frequencies*. II, NASA Tech. Pap. TP-1238.
- [8]. Kostov K, Vichev B (2005). *Experiments on microwave remote sensing of soil moisture in Vietnam*. News 2004, Bulgarian Academy of Sciences, Marin Drinov Academic Publishing House, Sofia, pp 92 - 93
- [9]. Njoku, E.G., and J. A. Kong (1977). *Theory for passive microwave remote sensing of near-surface soil moisture*. J. Geophys. Res., 82, 3108 - 3117.
- [10]. M. Guglielmetti, M. Schwank, C. Mätzler, C. Oberdörster, J. Vanderborght, and H. Flüher (2007). *Measured microwave radiative transfer properties of a deciduous forest canopy*. Remote Sensing of Environment, 109:523 - 532.
- [11]. Wilheit, T., (1978). *Radiative transfer in a plane stratified dielectric*. IEEE Trans. Geosci. Elec., GE-16, 138 - 143.

BBT nhận bài: 05/11/2019; Phản
biện xong: 01/12/2019