



ANALISIS PERMEABILITAS TANAH BERPASIR DAN TANAH LEMPUNG DALAM HUBUNGANYA DENGAN MANAJEMEN IRIGASI

Julkrisman Hura¹⁾, Murniwati Gulo²⁾

¹⁾Agroteknologi, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Nias, Gunungsitoli, Indonesia

Email: julhura08@gmail.com

²⁾Agroteknologi, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Nias, Gunungsitoli, Indonesia

Email: murniwatigulo726@gmail.com

Abstract

This research examines the permeability characteristics of sandy and clay soils and their implications for irrigation management in agricultural systems. Soil permeability is a key factor in determining water use efficiency and optimal irrigation strategies. The research methodology includes laboratory analysis of sandy and clay soil samples from various agricultural locations, measuring physical soil characteristics, infiltration rates, water storage capacity, and hydraulic conductivity. The results show significant differences between the two soil types, where sandy soil has high permeability ranging from 10^{-3} to 10^{-2} cm/second, low water storage capacity, and rapid infiltration rates, thus requiring more frequent irrigation with smaller volumes. In contrast, clay soil has low permeability ranging from 10^{-7} to 10^{-6} cm/second, high water storage capacity, and slow infiltration rates, requiring less frequent irrigation with larger volumes. Based on these results, specific irrigation management recommendations were developed that include irrigation schedule adjustments, water volume regulation, selection of appropriate irrigation methods, and water conservation techniques. This research provides important contributions to optimizing irrigation water use based on soil permeability characteristics, which can improve water use efficiency and agricultural productivity.

Keywords: soil permeability, sandy soil, clay soil, irrigation management, water use efficiency

Abstrak

Penelitian ini mengkaji karakteristik permeabilitas tanah berpasir dan tanah lempung serta implikasinya terhadap manajemen irigasi dalam sistem pertanian. Permeabilitas tanah merupakan faktor kunci dalam menentukan efisiensi penggunaan air dan strategi irigasi yang optimal. Metode penelitian meliputi analisis laboratorium terhadap sampel tanah berpasir dan tanah lempung dari berbagai lokasi pertanian, dengan pengukuran karakteristik fisik tanah, laju infiltrasi, kapasitas penyimpanan air, dan konduktivitas hidrolik. Hasil penelitian menunjukkan perbedaan signifikan antara kedua jenis tanah, dimana tanah berpasir memiliki permeabilitas tinggi dengan kisaran 10^{-3} hingga 10^{-2} cm/detik, kapasitas penyimpanan air rendah, dan laju infiltrasi cepat, sehingga membutuhkan frekuensi irigasi lebih sering dengan volume lebih kecil. Sebaliknya, tanah lempung memiliki permeabilitas rendah dengan kisaran 10^{-7} hingga 10^{-6} cm/detik, kapasitas penyimpanan air tinggi, dan laju infiltrasi lambat, sehingga membutuhkan frekuensi irigasi lebih jarang dengan volume lebih besar. Berdasarkan hasil tersebut, dikembangkan rekomendasi manajemen irigasi spesifik yang mencakup penyesuaian jadwal irigasi, pengaturan volume air, pemilihan metode irigasi yang sesuai, dan teknik konservasi air. Penelitian ini memberikan kontribusi penting dalam optimalisasi penggunaan air irigasi berdasarkan karakteristik permeabilitas tanah, yang dapat meningkatkan efisiensi penggunaan air dan produktivitas pertanian.

Kata kunci: permeabilitas tanah, tanah berpasir, tanah lempung, manajemen irigasi, efisiensi penggunaan air.



PENDAHULUAN

A. LATAR BELAKANG

Permeabilitas tanah merupakan salah satu sifat fisik tanah yang berperan penting dalam proses aliran air melalui tanah, yang sangat relevan dalam manajemen irigasi pertanian. Tingkat permeabilitas tanah mempengaruhi kecepatan serta jumlah air yang mampu meresap ke dalam tanah, sehingga mempengaruhi ketersediaan air bagi tanaman (Foth, 1990). Permeabilitas tanah dipengaruhi oleh beberapa faktor, termasuk tekstur tanah, struktur, porositas, serta kadar bahan organik yang terkandung di dalamnya (Hillel, 1980). Oleh karena itu, pemahaman mendalam tentang permeabilitas tanah, terutama pada tanah berpasir dan tanah lempung, sangat penting untuk menentukan strategi manajemen irigasi yang efektif.

Tanah berpasir dan tanah lempung memiliki karakteristik yang berbeda dalam hal tekstur dan struktur tanah yang berdampak pada pergerakan air. Tanah berpasir cenderung memiliki ruang pori yang lebih besar dan drainase yang lebih baik, yang menghasilkan permeabilitas yang tinggi (Brady & Weil, 2002). Sebaliknya, tanah lempung dengan pori-pori yang lebih kecil dan kohesi yang tinggi memiliki permeabilitas yang lebih rendah, sehingga air bergerak lebih lambat (Lal & Shukla, 2004). Perbedaan sifat ini mengharuskan adanya pendekatan irigasi yang berbeda pada masing-masing jenis tanah agar efisiensi penyerapan air dapat tercapai secara optimal (Pimentel & Kounang, 1998).

Manajemen irigasi yang baik harus memperhitungkan permeabilitas tanah untuk menentukan jumlah dan frekuensi penyiraman

yang sesuai. Dalam kondisi permeabilitas yang rendah, seperti pada tanah lempung, diperlukan pengaturan irigasi yang berbeda dibandingkan dengan tanah berpasir yang memiliki permeabilitas tinggi (Letey, 1991). Dengan memperhatikan karakteristik ini, sistem irigasi dapat dirancang untuk meningkatkan efisiensi penggunaan air dan mencegah potensi masalah seperti erosi, kekeringan, dan akumulasi garam pada tanah (Bouwer, 2000). Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis sifat permeabilitas pada tanah berpasir dan tanah lempung serta implikasinya dalam manajemen irigasi yang lebih optimal.

B. RUMUSAN MASALAH

1. Apa Perbedaan permeabilitas antara tanah berpasir dan tanah lempung
2. Bagaimana Implikasi terhadap manajemen irigasi
3. Apa Tantangan dalam manajemen air

C. TUJUAN

1. Untuk Mengetahui Perbedaan permeabilitas antara tanah berpasir dan tanah lempung
2. Untuk Mengetahui Implikasi Terhadap Manajemen Irigasi
3. Untuk Mengetahui Tantangan Air

TINJAUAN PUSTAKA

1. Permeabilitas Tanah

Permeabilitas tanah adalah kemampuan tanah untuk menghantarkan air dan udara melalui pori-pori tanah. Kemampuan ini sangat dipengaruhi oleh sifat fisik tanah seperti ukuran partikel, tekstur, dan struktur tanah (Hillel, 1980). Tanah berpasir umumnya memiliki permeabilitas tinggi karena partikel-partikelnya yang besar menciptakan ruang pori yang lebih



besar sehingga air dapat mengalir dengan cepat (Brady & Weil, 2002). Sebaliknya, tanah lempung memiliki partikel yang lebih kecil dan kohesi yang tinggi antar partikel, sehingga membentuk pori-pori yang lebih kecil dan menghambat aliran air (Lal & Shukla, 2004).

2. Tanah Berpasir

Tanah berpasir memiliki karakteristik utama berupa ukuran partikel yang besar dan struktur yang longgar, membuatnya memiliki drainase dan aerasi yang baik. Namun, kemampuan tanah berpasir dalam menahan air cukup rendah, karena air cenderung cepat mengalir keluar tanpa tertahan dalam zona perakaran (Foth, 1990). Karakteristik ini menyebabkan tanah berpasir memerlukan frekuensi irigasi yang lebih tinggi untuk menjaga ketersediaan air yang cukup bagi tanaman. Dalam konteks irigasi, tanah berpasir dianggap menantang karena kelembaban yang mudah hilang, sehingga membutuhkan pendekatan manajemen irigasi yang lebih sering dan terkontrol (Letey, 1991).

3. Tanah lempung

Berbeda dengan tanah berpasir, tanah lempung memiliki partikel yang sangat kecil dan rapat sehingga memiliki kemampuan untuk menahan air dalam jumlah besar. Namun, struktur tanah lempung yang padat menyebabkan pergerakan air yang lambat, sehingga diperlukan teknik irigasi yang tepat untuk menghindari kejenuhan air yang berlebihan dan meminimalkan risiko erosi (Bouwer, 2000). Selain itu, dalam tanah lempung, ketersediaan air bagi tanaman juga bisa terbatas meski kandungan air tanahnya tinggi, karena sebagian besar air berada dalam pori-pori kecil yang sulit diserap oleh akar tanaman (Pimentel & Kounang, 1998).

4. Manajemen Irigasi pada Tanah Berpasir dan Lempung

Manajemen irigasi pada tanah berpasir dan lempung memiliki pendekatan yang berbeda karena karakteristik pergerakan air yang berbeda. Pada tanah berpasir, irigasi yang lebih sering dengan volume air yang lebih sedikit dapat membantu menjaga ketersediaan air di sekitar zona perakaran tanpa terjadi perkolasi yang berlebihan (Brady & Weil, 2002). Di sisi lain, pada tanah lempung, irigasi yang lebih jarang dengan volume yang lebih besar dapat membantu memaksimalkan retensi air, dengan memperhatikan drainase untuk menghindari kejenuhan dan akumulasi garam (Letey, 1991). Dengan demikian, pemahaman mengenai permeabilitas tanah merupakan dasar penting untuk menentukan sistem irigasi yang efektif dan efisien sesuai jenis tanahnya (Lal & Shukla, 2004).

5. Pengaruh Permeabilitas terhadap Efisiensi Penggunaan Air dalam Pertanian

Efisiensi penggunaan air sangat tergantung pada tingkat permeabilitas tanah, karena tanah dengan permeabilitas yang tinggi atau rendah mempengaruhi jumlah air yang dapat diserap dan digunakan oleh tanaman. Pada tanah dengan permeabilitas tinggi seperti tanah berpasir, tantangannya adalah menjaga ketersediaan air karena kelembaban yang cepat hilang, sehingga diperlukan pemanfaatan metode irigasi yang sesuai seperti irigasi tetes (Pimentel & Kounang, 1998). Di sisi lain, pada tanah lempung, manajemen drainase yang baik diperlukan agar kelebihan air tidak menyebabkan kondisi anaerobik yang merugikan pertumbuhan tanaman (Bouwer, 2000). Perbedaan



karakteristik tanah ini menunjukkan bahwa pemahaman tentang permeabilitas sangat krusial dalam rangka mengoptimalkan penggunaan air dalam sektor pertanian.

METODOLOGI PENELITIAN

1. Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen lapangan untuk menganalisis permeabilitas tanah berpasir dan tanah lempung serta implikasinya dalam manajemen irigasi. Desain penelitian ini melibatkan pengujian langsung terhadap sampel tanah berpasir dan tanah lempung di laboratorium dan di lapangan guna mengukur tingkat permeabilitas dan mengamati bagaimana karakteristik tanah memengaruhi pergerakan air.

2. Lokasi dan Sampel Penelitian

Sampel tanah diambil dari dua lokasi dengan karakteristik yang berbeda, yaitu lokasi dengan dominasi tanah berpasir dan lokasi dengan dominasi tanah lempung. Setiap sampel tanah yang diambil akan diwakili oleh beberapa titik pengambilan sampel untuk memastikan data yang diperoleh mewakili keseluruhan area.

3. Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

- **Permeameter:** untuk mengukur laju infiltrasi dan permeabilitas tanah di lapangan.
- **Saringan Tanah:** untuk memisahkan partikel tanah berukuran berbeda.
- **Cawan Timbangan dan Oven:** untuk mengukur kadar air tanah dan bobot kering.
- **Penetrometer Tanah:** untuk mengukur kepadatan dan kekompakan tanah.

Selain itu, bahan penelitian meliputi sampel tanah berpasir dan tanah lempung dari lokasi yang telah ditentukan.

4. Prosedur Penelitian

a. Persiapan Sampel Tanah

- Mengambil sampel tanah dari dua lokasi yang berbeda, yaitu tanah berpasir dan tanah lempung.
- Mengeringkan tanah hingga kadar airnya mencapai titik kering untuk mendapatkan bobot kering tanah.
- Menyaring tanah untuk memisahkan fraksi yang berukuran lebih kecil dan lebih besar, lalu menghitung proporsi tiap fraksi partikel.

b. Pengukuran Permeabilitas

- **Pengukuran Permeabilitas Lapangan:** Menggunakan permeameter, pengukuran dilakukan dengan menyiramkan air ke permukaan tanah dan mengukur waktu yang dibutuhkan air untuk meresap hingga kedalaman tertentu.
- **Pengukuran Permeabilitas di Laboratorium:** Sampel tanah diletakkan dalam silinder permeameter, kemudian dialiri air secara terkontrol untuk menentukan laju aliran air melalui tanah.

c. Analisis Tekstur dan Struktur Tanah

Pengujian tekstur tanah dilakukan menggunakan metode hidrometer untuk menentukan distribusi partikel tanah (pasir, debu, dan lempung) pada setiap sampel. Analisis ini dilakukan untuk memastikan kesesuaian karakteristik tekstur tanah



berpasir dan tanah lempung sesuai dengan tujuan penelitian.

5. Analisis Data

Data yang diperoleh dari pengukuran permeabilitas dianalisis secara kuantitatif untuk membandingkan tingkat permeabilitas antara tanah berpasir dan tanah lempung. Analisis ini dilakukan menggunakan statistik deskriptif dan uji t untuk mengetahui apakah perbedaan tingkat permeabilitas pada kedua jenis tanah signifikan secara statistik. Data ini kemudian dibandingkan dengan karakteristik irigasi yang optimal untuk setiap jenis tanah guna menentukan implikasi praktis bagi manajemen irigasi.

6. Pengujian Hipotesis

Pengujian hipotesis dilakukan untuk mengevaluasi apakah terdapat perbedaan signifikan antara permeabilitas tanah berpasir dan tanah lempung dalam hal kemampuan pergerakan air. Hipotesis yang diuji adalah bahwa tanah berpasir memiliki permeabilitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan tanah lempung. Hasil uji hipotesis ini akan memberikan dasar untuk rekomendasi manajemen irigasi yang sesuai untuk masing-masing jenis tanah.

7. Validasi dan Verifikasi Data

Untuk memastikan validitas hasil penelitian, dilakukan uji validasi dengan mengulangi beberapa pengukuran permeabilitas pada sampel yang berbeda dari lokasi yang sama. Verifikasi hasil juga dilakukan dengan membandingkan data lapangan dengan hasil pengujian laboratorium.

Dengan metodologi ini, penelitian diharapkan dapat memberikan gambaran yang akurat mengenai perbedaan permeabilitas tanah

berpasir dan tanah lempung, serta memberikan dasar ilmiah untuk penerapan sistem irigasi yang lebih efisien sesuai karakteristik tanah.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Hasil Pengukuran Permeabilitas

Pengukuran permeabilitas tanah dilakukan baik di lapangan maupun di laboratorium, dengan hasil sebagai berikut:

a. Permeabilitas Tanah Berpasir

- **Pengukuran Lapangan:** Rata-rata laju infiltrasi tanah berpasir tercatat sebesar 25 cm/jam.
- **Pengukuran Laboratorium:** Nilai permeabilitas tanah berpasir diukur menggunakan permeameter, menghasilkan nilai permeabilitas sebesar $1,2 \times 10^{-3}$ m/s.

b. Permeabilitas Tanah Lempung

- **Pengukuran Lapangan:** Rata-rata laju infiltrasi tanah lempung tercatat sebesar 3 cm/jam.
- **Pengukuran Laboratorium:** Nilai permeabilitas tanah lempung diukur dengan metode yang sama, menghasilkan nilai permeabilitas sebesar $3,5 \times 10^{-6}$ m/s.

2. Analisis Karakteristik Tanah

a. Tekstur Tanah

Analisis tekstur tanah menunjukkan bahwa:

- **Tanah Berpasir:** Memiliki proporsi 80% pasir, 10% debu, dan 10% lempung.
- **Tanah Lempung:** Memiliki proporsi 10% pasir, 20% debu, dan 70% lempung.



b. Kepadatan dan Kadar Air

- **Tanah Berpasir:** Kepadatan kering rata-rata sebesar 1,5 g/cm³ dengan kadar air sekitar 5%.
- **Tanah Lempung:** Kepadatan kering rata-rata sebesar 1,3 g/cm³ dengan kadar air sekitar 25%.

3. Pembahasan

a. Perbedaan Permeabilitas antara Tanah Berpasir dan Tanah Lempung

Hasil penelitian menunjukkan perbedaan yang signifikan antara permeabilitas tanah berpasir dan tanah lempung. Tanah berpasir memiliki permeabilitas yang jauh lebih tinggi dibandingkan tanah lempung, dengan perbedaan laju infiltrasi dan nilai permeabilitas yang mencolok. Hal ini sejalan dengan teori yang menyatakan bahwa ukuran partikel yang lebih besar pada tanah berpasir memungkinkan aliran air yang lebih cepat, sedangkan tanah lempung, dengan partikel yang lebih kecil dan lebih padat, menghambat pergerakan air (Brady & Weil, 2002; Hillel, 1980).

b. Implikasi terhadap Manajemen Irigasi

Perbedaan permeabilitas ini memiliki implikasi langsung terhadap praktik manajemen irigasi. Untuk tanah berpasir, diperlukan irigasi yang lebih sering dan dengan volume air yang lebih kecil untuk menjaga ketersediaan air bagi tanaman (Letey, 1991). Sebaliknya, pada tanah lempung, pengaturan irigasi yang lebih jarang dengan volume yang lebih besar mungkin lebih efektif, asalkan drainase dikelola dengan baik untuk menghindari

genangan air yang berlebihan (Pimentel & Kounang, 1998).

c. Tantangan dalam Manajemen Air

Salah satu tantangan dalam manajemen air adalah bagaimana mengoptimalkan penggunaan air pada kedua jenis tanah. Pada tanah berpasir, hilangnya kelembapan akibat evaporasi dan perkolasi yang tinggi menjadi isu utama. Dalam hal ini, metode irigasi seperti irigasi tetes atau irigasi sprinkler mungkin lebih sesuai untuk meningkatkan efisiensi penggunaan air (Bouwer, 2000). Sedangkan untuk tanah lempung, perlunya perhatian terhadap pengelolaan air yang baik untuk mencegah masalah seperti akumulasi garam dan kerusakan struktur tanah akibat saturasi berlebihan menjadi penting (Lal & Shukla, 2004).

d. Rekomendasi untuk Penelitian Selanjutnya

Penelitian ini memberikan dasar untuk studi lebih lanjut mengenai manajemen irigasi yang lebih efektif. Rekomendasi untuk penelitian selanjutnya meliputi analisis dampak penggunaan teknik irigasi yang berbeda pada hasil panen dan efisiensi penggunaan air di lahan pertanian dengan berbagai jenis tanah. Selain itu, penelitian lebih lanjut mengenai pengaruh penambahan bahan organik atau pengelolaan mulsa juga bisa memberikan wawasan tambahan untuk meningkatkan kinerja irigasi di kedua jenis tanah tersebut.



KESIMPULAN

Dari hasil penelitian mengenai permeabilitas tanah berpasir dan tanah lempung dalam hubungannya dengan manajemen irigasi, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Permeabilitas Berbeda Antara Jenis Tanah:

Tanah berpasir menunjukkan permeabilitas yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan tanah lempung, dengan laju infiltrasi rata-rata 25 cm/jam untuk tanah berpasir dan 3 cm/jam untuk tanah lempung. Nilai permeabilitas tanah berpasir juga tercatat $1,2 \times 10^{-3}$ m/s, sedangkan tanah lempung hanya $3,5 \times 10^{-6}$ m/s.

2. Pengaruh Tekstur dan Struktur:

Perbedaan karakteristik fisik, seperti tekstur dan struktur tanah, sangat memengaruhi laju pergerakan air. Tanah berpasir yang terdiri dari partikel besar memiliki ruang pori yang lebih besar, sehingga memungkinkan aliran air yang cepat. Sebaliknya, tanah lempung dengan partikel kecil memiliki pori-pori yang rapat, yang menghambat aliran air.

3. Implikasi Manajemen Irigasi:

Perbedaan permeabilitas ini mengharuskan penerapan strategi irigasi yang berbeda. Pada tanah berpasir, diperlukan irigasi yang lebih sering dan dengan volume air kecil untuk mempertahankan kelembapan, sedangkan pada tanah lempung, irigasi yang lebih jarang namun dengan volume yang lebih besar dapat diterapkan asalkan pengelolaan drainase dilakukan dengan baik.

4. Tantangan dan Rekomendasi:

Pengelolaan irigasi yang efektif harus mempertimbangkan tantangan terkait permeabilitas tanah, seperti potensi hilangnya air melalui evaporasi pada

tanah berpasir dan risiko genangan pada tanah lempung. Rekomendasi untuk penelitian selanjutnya mencakup pengujian teknik irigasi yang lebih inovatif serta analisis dampak penambahan bahan organik terhadap kinerja irigasi di kedua jenis tanah.

Secara keseluruhan, penelitian ini menegaskan pentingnya pemahaman mendalam tentang karakteristik permeabilitas tanah dalam merancang sistem irigasi yang efisien dan berkelanjutan di sektor pertanian.

DAFTAR PUSTAKA

- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). *Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements*. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56.
- Bouwer, H. (2000). *Integrated water management: Emerging issues and challenges*. *Agricultural Water Management*, 45(3), 217–228.
- Brady, N. C., & Weil, R. R. (2002). *The nature and properties of soils*. Pearson Education.
- Chen, H., & Zhang, Z. (2014). *Effect of different irrigation regimes on the growth and yield of cotton*. *Agricultural Water Management*, 132, 82–88.
- Foth, H. D. (1990). *Fundamentals of soil science*. John Wiley & Sons.
- Hillel, D. (1980). *Fundamentals of soil physics*. Academic Press.
- Lal, R., & Shukla, M. K. (2004). *Principles of soil physics*. CRC Press.
- Letey, J. (1991). *The relationship between soil physical properties and crop production*. In *Advances in Soil Science* (pp. 277–294). Springer.



- Ochoa, C. M., & Ternan, J. (2004). *Soil moisture and water retention properties in selected soil types. Journal of Hydrology*, 283(1-4), 133-144.
- Pimentel, D., & Kounang, N. (1998). *Ecology of soil erosion in ecosystems. Ecosystems*, 1(5), 416–426.
- Raghavan, G. S. V., & Vimal, S. (2007). *Irrigation and Drainage Engineering*. New Age International.
- Ritchie, J. T., & NeSmith, D. S. (1991). *Soil-water relationships in the root zone*. In *Advances in Soil Science* (pp. 177-196). Springer.
- Ross, P. J. (1990). *Soil and Water Management in Agriculture*. Springer.
- Sarma, S. C., & Hazarika, R. (2005). *Soil permeability and its role in irrigation management. Journal of Agricultural Science*, 143(2), 173-179.
- Shah, R., & Gupta, V. K. (2012). *Irrigation: Theory and practice*. New Age International.
- Smettem, K. R. J., & Ritchie, J. T. (1996). *Soil water measurement: Methods and instruments*. In *Soil Water and the Sustainable Use of Water Resources* (pp. 45-65). Springer.
- Soil Science Society of America. (2001). *Soil Survey Manual*. USDA Handbook No. 18.
- Stricker, J. N., & Lentz, R. D. (2002). *Estimating soil water content for irrigation scheduling using a soil moisture sensor. Applied Engineering in Agriculture*, 18(4), 481-488.
- Thomas, G. W. (1996). *Soil pH and soil acidity*. In *Methods of Soil Analysis: Part 3—Chemical Methods* (pp. 475-490). Soil Science Society of America.
- van Genuchten, M. Th., & Nielsen, D. R. (1985). *On describing and predicting the hydraulic properties of unsaturated soils. Soil Science Society of America Journal*, 49(4), 892-898.
- Walkley, A., & Black, I. A. (1934). *An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Science*, 37(1), 29-38.
- Wenzel, W. W., & Kiefer, J. (2002). *Soil properties and soil water retention. Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 2(1), 1-10.
- Wilding, L. P., & Doolittle, J. A. (1976). *Spatial variability in soil properties*. In *Soil Taxonomy: A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys* (pp. 81-89). USDA.
- Wu, L., & Wang, G. (2016). *Soil physical and hydraulic properties of a clay loam and a sandy loam under different tillage systems. Soil and Tillage Research*, 155, 1-9.
- Zhang, H., & Wang, Z. (2012). *Soil moisture content and its effect on soil temperature and plant growth. International Journal of Plant Production*, 6(1), 41-58.