सटीक सिंचाई जल प्रबंधन के लिए वाष्पोत्सर्जन आकलन का आधुनिक दृष्टिकोण

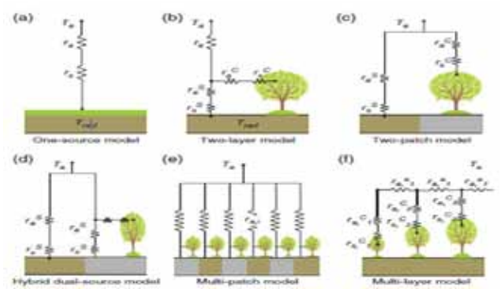
संगीता कुमारी, और सुसामा सुधीश्री*

जल प्रौद्योगिकी केंद्र, आईसीएआर–भारतीय कृषि अनुसंधान संस्थान, नई दिल्ली, भारत

अनुरूपी लेखकः प्रोफेसर और प्रधान वैज्ञानिक, आईएसएई दिल्ली चैप्टर के उपाध्यक्ष

सटीक सिंचाई जल प्रबंधन वाश्पोत्सर्जन आधारित और मिट्टी की नमी आधारित के माध्यम से किया जा सकता है। हालाँकि, वाष्पोत्सर्जन पृथ्वी के जल चक्र में एक महत्वपूर्ण भूमिका निभाता है, जो स्थलीय जल, कार्बन और सतही ऊर्जा विनिमय के बीच एक महत्वपूर्ण कड़ी के रूप में कार्य करता है। वाष्पोत्सर्जन का अनुमान लगाने कीके कई विधियाँ तरीके हैं, जिन्हें चार प्रमुख श्रेणियों में विभाजित किया गया हैः तापमान–आधारित (जैसे एफएओ 24 ब्लैनली–क्रिडल, एसएसएस ब्लैनी–क्रिडल और हरग्रेव्स), विकिरण–आधारित (जैसे प्रीस्टली टेलर, जेन्सन–हाइज और एफएओ 24 विकिरण), पैन वाष्पीकरण–आधारित (जैसे एफएओ 24 पैन) और संयोजन (एफएओ पेनमैन–मोंटेथ, एफएओ पेनमैन, संशोधित पेनमैन)। इनमें से, एफएओ पेनमैन–मोंटेथ का प्रदर्शन विभिन्न अध्ययनों में अधिक सटीक होने का अनुमान लगाया गया है। हालांकि, इन तकनीकों का मुख्य दोष यह है कि वे एक ही स्थान के लिए विशिष्ट बिंदु अवलोकन प्रदान करते हैं लेकिन हम अच्छी तरह से जानते हैं कि वाष्पोत्सर्जन समय और दूरी के संदर्भ में बहुत अधिक उतार–चढ़ाव करता है। वाष्पोत्सर्जन का मापन और भविष्यवाणी, विशेष रूप से बड़े पैमाने पर, अंतर्निहित चुनौतियां प्रस्तुतपेश करती हैं। सुदूर संवेदन क्षेत्रीय से वैश्विक स्तर पर वाष्पोत्सर्जन का अनुमान लगाने के लिए एक लागत प्रभावी दृष्टिकोण प्रदान करता है, और पिछले तीस वर्षों में, सुदूर संवेदन–आधारित वाष्पोत्सर्जन अनुमान पर कई अध्ययन सामने आए हैं। वाष्पोत्सर्जन के सुदूर संवेदन में प्रगति से वैश्विक जल और ऊर्जा चक्रों के लिए निगरानी क्षमताओं में वृद्धि होने की आशाउम्मीद है, जिसमें जल उपलब्धता का आकलन करना, पारिस्थितिकी तंत्र की प्रतिक्रियाओं को समझना और जलवायु परिवर्तन और मानव प्रभावों पर प्रतिक्रिया का विश्लेषण करना सम्मिलित भाामिल है। वाष्पोत्सर्जन के अनुमान के लिए आधारभूत बुनियादी दृष्टिकोण जल संतुलन विधि चूंकि वाष्पोत्सर्जन (ई) जल बजट का एक घटक है, इसलिए इसे जल संतुलन समीकरण 1 और 2 में अवशिष्ट के रूप में परिकलित किया जा सकता है। पुनर्प्राप्ति एल्गोरिदम और उपग्रह सुदूर संवेदन (आर, स) तकनीक में हाल की प्रगति ने बड़े पैमाने पर वर्षा (पी) और जल भंडारण (Δ एस) में परिवर्तन की व्यापक मैपिंग और निगरानी की सुविधा प्रदान की है। हालांकि, अपवाह (आर) डेटा आम तौर पर विरल ग्राउंड अवलोकन नेटवर्क के माध्यम से प्राप्त किया जाता है। परिणामस्वरूप, इस का अनुमान लगाने के लिए जल संतुलन विधि को आमतौर पर बेसिन पैमाने पर और मासिक या मोटे अस्थायी पैमाने पर लागू किया जाता है, क्योंकि सुदूर संवेदी Δ एस की उपलब्धता है, जो वर्तमान में मुख्य रूप से GRACE

(Source-https://doi.org/10.1002/wat2.1168)



(गुरुत्व पुनर्प्राप्ति और जलवायु प्रयोग) उपग्रहों द्वारा प्रदान किया जाता है।

ΔS = ¼P+I+U½ – ¼R+D+ET½ ………… ¼1½

ET= P + I + U – ΔS –R & D ………………….¼2½

जहाँ Δएस जड़ क्षेत्र में मिट्टी की नमी भंडारण में परिवर्तन] P – वर्शण I – सिंचाई, U – नीचे से जड़ क्षेत्र तक पानी का उल्टा कोशिका प्रवाह, R – अपवाह, D – जड़ क्षेत्र से नीचे की ओर जल निकासी, ET – फसल पौधों से वाष्पीकरण–उत्सर्जन

सतही ऊर्जा संतुलन विधि (एसईबीएम)

यह सुदूर संवेदन के माध्यम से वाष्पोत्सर्जन का अनुमान लगाने का सबसे प्रारंभिक विधितरीका है। यह सतही ऊर्जा बजट (एसईबी) अभिव्यक्ति और भूमि सतह प्रवाह समीकरणों को दूर से प्राप्त तापमान के साथ एकीकृत करता है। इस विधि में, एसईबी समीकरण (3) और ऊष्मा समीकरण (4) पर निर्भर करते हुए, सतही ऊर्जा बजट गणना में अवशिष्ट मूल्य के रूप में गुप्त ऊष्मा (λE) का अनुमान लगाया जाता है,

$$\lambda ET = R_n - G - H \quad \ldots\ldots (3)$$

$$H = \rho_{air} \cdot C_p \cdot \left(\frac{T_{aero} - T_a}{r_r}\right) \quad \ldots\ldots (4)$$

जहा λET– गुप्त ताप प्रवाह (W/m^2), R_n – सतह पर शुद्ध) विकिरण प्रवाह (W/m^2), G – मृदा ताप प्रवाह (W/m^2), H – संवेदनशील ताप प्रवाह (W/m^2), *þair*– हवा का घनत्व C_p – वायु की विशिष्ट ऊष्मा T_{aero} – वायुगतिकीय सतह का तापमान, R_r – रेडियोमेट्रिक–संवहनी प्रतिरोध T_a (वायु का तापमान)

एसईबीएम पर आधारित मॉडलों में प्रयुक्त प्रतिरोध नेटवर्क के विभिन्न विन्यास (झेंग एवं अन्य 2016)

I – एक स्रोत मॉडल

इस मॉडल में, सतह को पेनमैन और पेनमैन–मोंटेथ प्रतिरोध मॉडल की तरह एक पूरे के रूप में माना जाता है

II – दो–स्रोत मॉडल

यह मिट्टी और वनस्पति के व्यक्तिगत योगदान को ध्यान में रखता है, इसलिए यह शटलवर्थ–वालेस मॉडल की तरह माप में अनिश्चितता को कम करता है।

III – दो–स्रोत मॉडल

यह मिट्टी और वनस्पति को दो vlac) पैच के रूप में मानता है जिसमें फ्लक्स नॉर्मन मॉडल की तरह पैच के बीच परस्पर क्रिया नहीं करता है।

IV – हाइब्रिड दोहरा स्रोत म०डल

यह मॉडल पैच और परत का एक संयुक्त दृष्टिकोण अपनाता है।

V – मल्टी–पैच मॉडल

यह सतह को कई पथों में विभाजित करके प्रत्येक ग्रिड सेल के भीतर अधिक स्थानिक विषमता पर विचार करता है।

VI – मल्टी–लेयर मॉडल

यह वनस्पति की गणना में ऊर्ध्वाधर विषमता को ध्यान में रखता है और गणना में अपेक्षाकृत जटिल है।

सतही ऊर्जा संतुलन विधि पर आधारित मॉडल

1) SEBAL (सतही ऊर्जा संतुलन एल्गोरिथ्म)

SEBAL एक संकर पद्धति का प्रतिनिधित्व करता है जो अनुभवजन्य संबंधों और भौतिक मापदंडों को जोड़ती है। यह मॉडल विशेष रूप से न्यूनतम ग्राउंड डेटा आवश्यकताओं के साथ क्षेत्रीय पैमाने पर ऊर्जा विभाजन की गणना करने के लिए डिजाइन किया गया है। रिमोट सेंसिंग डेटा का उपयोग करते हुए, वायुमंडलीय चर जैसे वायु तापमान और हवा की गति का अनुमान लगाया जाता है, जो हाइड्रोलॉजिकल और ऊर्जावान अंतरों के परिणामस्वरूप स्थानिक भिन्नताओं को ध्यान में रखते हैं। अध्ययन क्षेत्र में गीली और सूखी सतहों की पहचान सीमा मान निकालने के लिए महत्वपूर्ण है। SEBAL आने वाले विकिरण, सतह के तापमान (Ts), NDVI और अल्बेडो मानचित्रों पर निर्भर करता है। NDVI के आधार पर उत्सर्जन और खुरदरापन लंबाई की गणना करने के लिए अनुभवजन्य संबंधों का उपयोग किया जाता है। समझदार ऊष्मा प्रवाह को शुष्क (LE = 0) और नम (H = 0) भूमि दोनों पर समझदार ऊष्मा प्रवाह अभिव्यक्ति को उलट कर निर्धारित किया जाता है, जबकि अव्यक्त ऊष्मा प्रवाह की गणना ऊर्जा संतुलन में अवशिष्ट के रूप में की जाती है।

2) METRIC (इंटरनलाइज्ड कैलिब्रेशन के साथ उच्च रिज़ॉल्यूशन पर वाष्पोत्सर्जन का मानचित्रण)

मेट्रिक सतही ऊर्जा संतुलन–आधारित मॉडलों में से एक है जो

पृथ्वी की सतह पर परावर्तित होने वाले कुल विकिरण से अवशिष्ट ऊर्जा का अनुमान लगाने के सिद्धांत पर काम करता है। यह सतही ऊर्जा संतुलन की ार्तों को हल करके वास्तविक ET का अनुमान लगाने के लिए दूर से संवेदित डेटा का उपयोग और विश्लेषण करता है। मेट्रिक SEBAL के समान सिद्धांतों पर आधारित है। मेट्रिक मॉडल में, (एलन एवं अन्य 2011) हॉट पिक्सेल पर ET को 0–8 ETr, 0–5 ETr, 0–3 ETr, 0–2 ETr और 0–1 म्ज्त के बराबर मानने का उल्लेख है, 15 मिमी या उससे अधिक की पर्याप्त बारिश की धटना के बाद क्रमशः 1, 2, 3, 4 और 5 दिन और हॉट पिक्सेल पर ET को उन तिथियों के लिए भून्य माना जाता है जिनके लिए 5 दिनों से पहले कोई पर्याप्त वर्षा नहीं हुई थी। लेकिन स्वचालित मौसम स्टे ान (AWS) पर मापी गई मिट्टी की जल सामग्री के मूल्यों से, यह देखा गया है कि मिट्टी की सतह पर वाष्पीकरण के लिए पर्याप्त नमी उपलब्ध थी, भले ही पिछले 5 दिनों में कोई उल्लेखनीय वर्षा (15 मिमी से अधिक वर्षा) न हुई हो, विशेषरूप खरीफ फसल के मौसम में के दौरान। इस विधि में, वर्षा की मात्रा और आवृत्ति के आधार पर हॉट पिक्सेल पर ज्ञक्रत कारक को सम्मिलित किया जाता है।

3) gee SEBAL- MODIS

(गी सेबल–मोडिस)

SEBAL का महाद्वीपीय–पैमाने पर कार्यान्वयन, जिसे हम gee SEBAL & MODIS के रूप में जाना जाता है, भूमि की सतह के तापमान को सामान्य करने की तकनीकों को सम्मिलित करता है (डी एड्रेड और अन्य, 2024)। यह सामान्यीकरण प्रासंगिक वाष्पोत्सर्जन (ईटी) मॉडल को बहुत बड़े पैमाने पर विस्तारित करने की सुविधा प्रदान करता है। gee SEBAL & MODIS जलवायु परिवर्तन की निगरानी और ET पर मानव–प्रेरित प्रभावों का आकलन करने के लिए एक मूल्यवान उपकरण के रूप में कार्य करता है। कई रिमोट सेंसिंग डेटा और पूरक मौसम संबंधी सूचनाओं को नियोजित करके, मॉडल तात्कालिक सतही ऊर्जा संतुलन (SEB) प्रवाह का अनुमान लगाने में सक्षम बनाता है। यह उन्नति मध्यम से उच्च रिजॉल्यूशन पर उच्च–सटीक वैश्विक ET निगरानी प्राप्त करने का मार्ग प्रशस्त करती है, जो वैश्विक स्तर पर जल संसाधन प्रबंधन में प्रगति में योगदान करती है।

नेमा और अन्य, 2020 इस अध्ययन का उद्देश्य लधु हिमालय में एक पर्वतीय जलक्षेत्र पर ET के परिवर्तन का अनुमान लगाना और एफ–ए–ओ– पेनमैन–मोंटेथ विधि द्वारा निर्धारित ET मानों का उपयोग करके METRIC (आंतरिक अंशांकन के साथ उच्च रिजॉल्यूशन पर वाष्पोत्सर्जन का मानचित्रण) अनुमानित ET मानों की सापेक्ष सटीकता का आकलन करना था। उन्होंने निष्कर्ष निकाला कि संशोधित METRIC, मैट्रिक की तुलना में वाष्पोत्सर्जन का बेहतर अनुमान देता है और खरीफ सीजन के लिए संशोधित METRIC की सटीकता रबी सीजन की तुलना में अधिक है। जबकि, डी एड्रेड और अन्य (2023) ने दक्षिण अमेरिका के लिए सतही ऊर्जा संतुलन विधि के आधार पर वाष्पोत्सर्जन का अनुमान लगाने के लिए महाद्वीपीय पैमाने पर जी–सेबल–मोडिस मॉडल प्रस्तुत किया। इस अध्ययन का मुख्य उद्देश्य वाष्पोत्सर्जन मानचित्रण के लिए महाद्वीपीय पैमाने पर जी सेबल–मोडिस मॉडल का एक नया नवाचार है।

निष्कर्ष

मौजूदा रिमोट सेंसिंग (RS) वाष्पोत्सर्जन उत्पादों का आकलन करने के लिए कई अध्ययन किए गए हैं, जिसमें स्थानीय और क्षेत्रीय पैमाने पर प्रभाव डालने वाले विभिन्न विधियोंतरीकों का प्रयोगइस्तेमाल किया गया है। भविष्य के सेंसरों के प्रत्याशित सुधार और नई तकनीकों की उपलब्धता के साथ, यह संभावना है किए कम से कम, अधिकांश जल धटकों को अंतरिक्ष से अनुभवमहसूस किया जा सकता है, जिससे उपग्रह से प्राप्त जल धटकों के लिए संभावित रूप से जल बजट बंद हो सकता है। यह स्वीकार करते हुए कि निस्संदेह उल्लेखित चुनौतियों और दिशाओं से परे अतिरिक्त शोध चुनौतियाँ और दिशाँ, होंगी, रिमोट सेंसिंग वाष्पोत्सर्जन के क्षेत्र में तेजी से विकास और प्रगति देखी गई है। इस विकास का श्रेय निरंतर संवर्द्धन और उपग्रह डेटा और तकनीकों की निरंतर उपलब्धता को दिया जाता है। रिमोट सेंसिंग वाष्पोत्सर्जन अनुमान दृष्टिकोण क्षमताओं के विकास ने परिचालन पर्यावरण और जल विज्ञान निगरानी, कृषि प्रबंधन, निर्णय समर्थन और जलवायु परिवर्तन अध्ययनों में पर्याप्त योगदान दिया है। इस डोमेन में चल रही प्रगति, सहायक सेंसर तकनीकों के साथ मिलकर, वाष्पोत्सर्जन अनुमान सटीकता और क्षमता को और अधिक परिष्कृत करने की आशाउम्मीद है। यह प्रगति, बदले में, वैज्ञानिक सफलताओं और अनुप्रयोगों को सुविधाजनक बनाएगी, जिससे अन्य विभिन्न अन्य क्षेत्रों को लाभ होगा।

REFERENCES

- Allen, R., Irmak, A., Trezza, R., Hendrickx, J.M., Bastiaanssen, W. and Kjaersgaard, J., 2011. Satellite-based ET estimation in agriculture using SEBAL and METRIC. Hydrological processes, 4011-4027.
- de Andrade, B.C., Laipelt, L., Fleischmann, A., Huntington, J., Morton, C., Melton, F., Erickson, T., Roberti, D.R., de Arruda Souza, V., Biudes, M. and Machado, N.G., 2024. geeSEBAL-MODIS: Continental-scale evapotranspiration based on the surface energy balance for South America. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 207, 141-163.
- Nema, M. K., Thakur, H. P., Upreti, H., Jain, S. K., Mishra, P. K., Thayyen, R. J., & Jain, S. K., (2020) Estimation of evapotranspiration in lesser Himalayas using remote sensing-based surface energy balance algorithm. Geocarto International, 1-19.
- Zhang, K., Kimball, J.S. and Running, S.W., 2016. A review of remote sensing based actual evapotranspiration estimation. Wiley Interdisciplinary Reviews: Water, 834-853.