

ABSTRACT

This work investigates the challenges and solutions associated with the use of ground-based X-band weather radars in Cyprus for quantitative precipitation estimation (QPE). The study addresses two primary limitations of these radars, i.e., attenuation and calibration uncertainties, by employing spaceborne observations from the Global Precipitation Measurement Mission (GPM). In the first phase, a constrained attenuation correction approach is applied, assuming the path integrated attenuation equals the difference between ground radar and GPM Dual-frequency Precipitation Radar (DPR) reflectivity. Various parameter combinations are tested, highlighting the need for event- and radar-specific adjustments. The second phase focuses on radar calibration using volume-matched GPM DPR Ku-band reflectivity. Multiple filtering and thresholding schemes are evaluated, with the most consistent schemes being combined to derive stable calibration periods and determine the final offset. Finally, a dual-stage machine learning framework is introduced to convert raw reflectivity into rainfall rate estimates. The first stage corrects the ground raw reflectivity using GPM DPR Ku-band volume-matched reflectivity, while the second stage estimates rainfall using ground truth from rain gauges. The performance of the latter is compared with traditional Z-R methods. This research presents the first comprehensive effort to validate, correct, and prepare the Cyprus radar network for operational use. The findings demonstrate the potential of integrating satellite data, ground-based observations, and machine learning techniques to enhance the reliability of ground-based radar QPE in Cyprus.

Keywords: X-band meteorological radar; GPM DPR Ku-band; attenuation correction; radar volume matching; radar calibration; Z–R relationship

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διατριβή διερευνά τις προκλήσεις και τις λύσεις που σχετίζονται με τη χρήση των επίγειων μετεωρολογικών ραντάρ X-band στην Κύπρο για την ποσοτική εκτίμηση της βροχόπτωσης. Η μελέτη αντιμετωπίζει δύο κύριους περιορισμούς αυτών των ραντάρ, οι οποίοι αποτελούν, αφενός την εξασθένηση της δέσμης ακτινοβολίας, και αφετέρου, τις αβεβαιότητες βαθμονόμησης, χρησιμοποιώντας διαστημικές παρατηρήσεις από το Global Precipitation Measurement Mission (GPM). Στην πρώτη φάση, εφαρμόζεται μια προσέγγιση διόρθωσης της εξασθένησης με περιορισμούς, υποθέτοντας ότι η εξασθένηση κατά μήκος της δέσμης ακτινοβολίας ισούται με τη διαφορά μεταξύ του επίγειου ραντάρ και της ανακλαστικότητας του ραντάρ βροχόπτωσης διπλής συχνότητας (DPR) του GPM. Μελετώνται διάφοροι συνδυασμοί παραμέτρων, αναδεικνύοντας την ανάγκη για προσαρμογή που να είναι βασισμένη τόσο στο συγκεκριμένο γεγονός, όσο και στο συγκεκριμένο ραντάρ που είναι σε χρήση. Η δεύτερη φάση επικεντρώνεται στη βαθμονόμηση των επίγειων ραντάρ με τη χρήση της ανακλαστικότητας του GPM DPR Ku-band. Η σύγκριση εφαρμόζεται σε δείγματα αντιστοιχισμένων όγκων. Αξιολογούνται πολλαπλοί συνδυασμοί φίλτραρίσματος και κατωφλίου, με τους πιο συνεπείς από αυτούς να συνδυάζονται για την εξαγωγή περιόδων σταθερής βαθμονόμησης και τον προσδιορισμό της τελικής αντιστάθμισης της ανακλαστικότητας. Τέλος, εισάγεται ένα πλαίσιο μηχανικής μάθησης δύο-σταδίων, για τη μετατροπή της ανακλαστικότητας σε εκτιμήσεις της έντασης βροχόπτωσης. Το πρώτο στάδιο διορθώνει την ανακλαστικότητα του επίγειου ραντάρ, χρησιμοποιώντας την ανακλαστικότητα του GPM DPR Ku-band, ενώ το δεύτερο στάδιο εκτιμά την ένταση βροχόπτωσης, χρησιμοποιώντας επίγειες παρατηρήσεις από βροχομετρικούς σταθμούς. Η απόδοση του τελευταίου συγκρίνεται με τις παραδοσιακές μεθόδους εκτίμησης έντασης βροχόπτωσης με δεδομένα ραντάρ (Z-R). Η παρούσα έρευνα παρουσιάζει την πρώτη ολοκληρωμένη προσπάθεια επικύρωσης, διόρθωσης και προετοιμασίας του κυπριακού δικτύου ραντάρ για επιχειρησιακή χρήση. Τα ευρήματα καταδεικνύουν τη δυνατότητα ολοκληρωμένης χρήσης δορυφορικών δεδομένων, επίγειων παρατηρήσεων και τεχνικών μηχανικής μάθησης για τη βελτίωση της αξιοπιστίας της ποσοτικής εκτίμησης βροχόπτωσης με τη χρήση επίγειων ραντάρ στην Κύπρο.

Λέξεις κλειδιά: μετεωρολογικά ραντάρ τύπου X-band; GPM DPR Ku-band; διόρθωση εξασθένησης δέσμης ραντάρ; αντιστοιχισμένοι όγκοι ραντάρ; βαθμονόμηση ραντάρ; σχέση Z-R μετατροπής της ανακλαστικότητας σε βροχόπτωση