

ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΜΑΚΡΟΣΚΟΠΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΤΩΝ ΧΑΛΑΖΟΚΑΤΑΙΓΙΔΩΝ ΜΕ ΤΗ ΣΠΟΡΑ ΤΩΝ ΝΕΦΩΝ¹

ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ ΦΟΡΗΣ²

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το Εθνικό Πρόγραμμα Χαλαζικής Προστασίας (ΕΠΧΠ), που λειτουργεί επίσημα από το 1984, έχει στόχο τη μείωση των ζημιών από το χαλάζι στις καλλιέργειες. Αυτό επιτυγχάνεται με τη σπορά των χαλαζοφόρων νεφών με ιωδιούχο άργυρο από ειδικά εξοπλισμένα αεροσκάφη.

Στόχος της μελέτης αυτής είναι η εξέταση της επίδρασης της σποράς στα μακροσκοπικά χαρακτηριστικά των χαλαζοκαταιγίδων, δηλαδή στην ανακλαστικότητα, το ύψος κορυφής και το χρόνο ζωής τους. Αυτό γίνεται με σύγκριση σπαρμένων και μη σπαρμένων καταιγίδων που έδωσαν ή δεν έδωσαν χαλάζι στο έδαφος. Τα αποτελέσματα πιστεύεται ότι θα οδηγήσουν σε επιτυχέστερες επιχειρήσεις καταστολής χαλαζιού στο μέλλον.

ABSTRACT

The Greek National Hail Suppression Program, which is officially running since 1984, intends to minimize hail damage to crops by seeding hail-bearing clouds with silver iodide delivered by specially equipped aircrafts. The purpose of this study is to examine the effect of seeding to reflectivity, cloud top and cell lifetime primarily. This is accomplished by comparing seeded and unseeded storms giving or not giving hail on ground.

To this end, all cells that have been treated during the 1999-2001 hail seasons in area A1 of Central Macedonia have been examined. Data involve hail reports from farmers, hailpad data, radar observations, seeding aircraft accurate position and timing, and other meteorological data.

The comparison between seeded and unseeded storms reveals that there exists a considerable decline of hail occurrence in seeded storms, and that the lifetime of seeded storms is slightly reduced compared to that of unseeded ones.

Storms are divided into two major categories, namely singlecells and multicells, according to an internationally adopted conceptual model. By examining the difference in hail occurrence from storms falling into these categories, one can conclude that seeding of singlecells is more efficient, and also that if seeding is timely, then the rate of increase of reflectivity and cloud top height is reduced almost in all multicell storms.

By examining the seeding duration and the seeding amounts up to a maximum reflectivity of 45 dBZ (mainly singlecells), these are considered satisfactory, beyond 45 dBZ though, greater seeding amounts and longer seeding durations are needed.

Conclusively, the above results, which are statistically significant, are believed to contribute to even more efficient hail suppression operations in the future.

ΛΕΞΕΙΣ-ΚΛΕΙΔΙΑ: χαλαζοκαταιγίδες, ανακλαστικότητα, ύψος κορυφής, χρόνος ζωής, σπορά νεφών, μονοκυτταρικές-πολυκυτταρικές καταιγίδες, ρυθμός σποράς

KEY-WORDS: hailstorms, reflectivity, cloud top, lifetime, cloud seeding, singlecells-multicells, seeding rate

1:MODIFICATION OF MACROSCOPIC FEATURES OF HAILSTORMS DUE TO CLOUD SEEDING

2:Κέντρο Μετεωρολογικών Εφαρμογών

Οργανισμός Ελληνικών Γεωργικών Ασφαλίσεων (ΕΛ.Γ.Α.)

Αεροδρόμιο "Μακεδονία", 55103 Θεσσαλονίκη

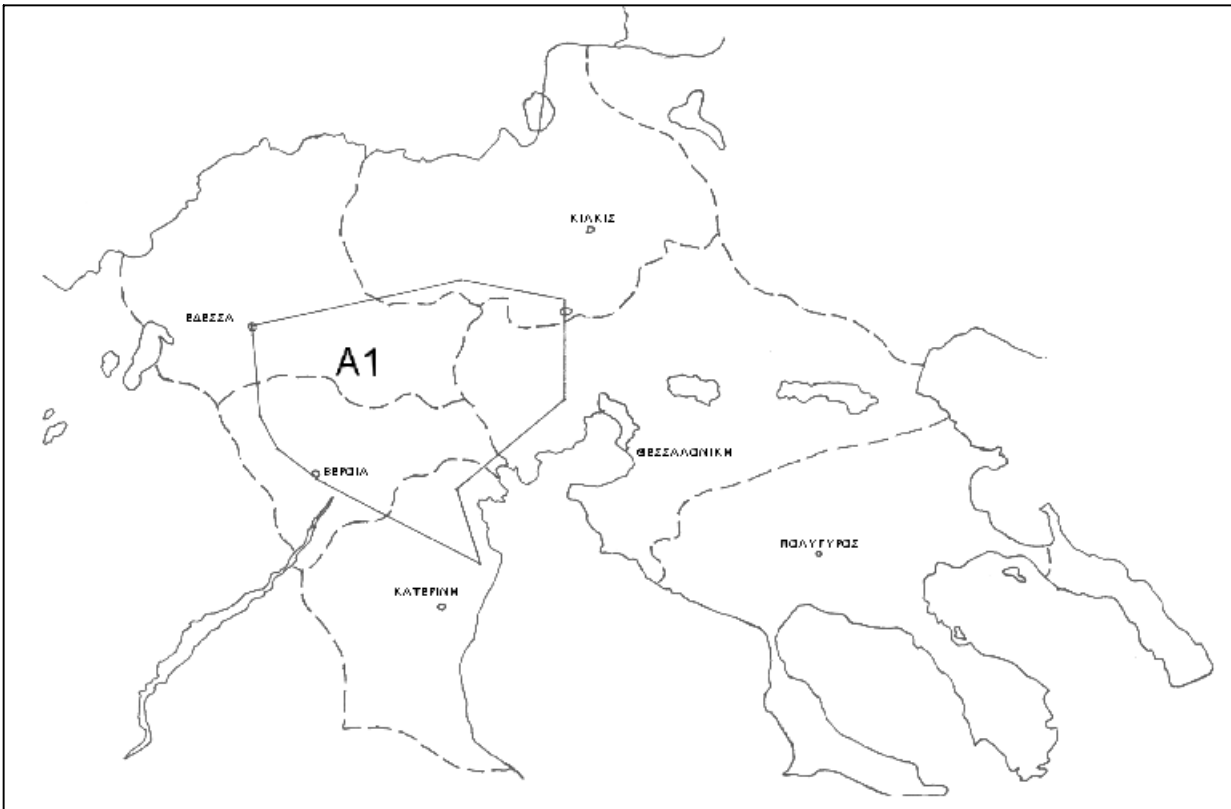
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Για τη διερεύνηση της επίδρασης της σποράς στα χαρακτηριστικά των χαλαζοκαταιγίδων εξετάστηκαν όλες οι καταιγίδες που οδήγησαν σε χαλαζόπτωση ή υπέστησαν επέμβαση κατά τη διάρκεια των αντιχαλαζικών περιόδων 1999–2001 (15 Απριλίου ως 30 Σεπτεμβρίου) στην περιοχή Α1 της Κεντρικής Μακεδονίας (348 καταιγίδες). Κύριο βοήθημα για τη συλλογή των δεδομένων της εργασίας αυτής υπήρξε το καταγραφικό σύστημα του ρανιάρ καιρού της Θεσσαλονίκης που παρείχε τα χαρακτηριστικά των καταιγίδων κάθε 3.5 min, καθώς και το καταγραφικό σύστημα των πτήσεων, που εμφάνιζε την ακριβή θέση του αεροσκάφους σποράς και τον ακριβή χρόνο εκτόξευσης κάθε φυσιγγίου σποράς ανά sec. Χρησιμοποιήθηκαν επίσης αναφορές χαλαζιού από αγρότες, δεδομένα δικτύου χαλαζομέτρων, οικονομικά στοιχεία για αποζημιώσεις και άλλα μετεωρολογικά δεδομένα.

2. ΔΕΔΟΜΕΝΑ-ΟΡΙΣΜΟΙ-ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Οι παράμετροι των καταιγίδων που εξετάστηκαν και οι τρόποι εύρεσής τους είναι: 1. Μέγιστη ανακλαστικότητα Z_{max} και μέγιστη κορυφή H_{max} : προσδιορίζονται από τις διαδοχικές καταγραφές ρανιάρ. 2. Διάρκεια ζωής DT (χρόνος εμφάνισης και διάλυσης): το χρονικό διάστημα μέσα στο οποίο εμφανίζεται ηχώ του νέφους στο PPI. Σε όλες σχεδόν τις περιπτώσεις το κατώφλι εμφάνισης και διάλυσης ήταν γύρω στα 30 dBZ στο καταγραφικό σύστημα. 3. Διάρκεια χαλαζόπτωσης DH (χρόνος έναρξης και λήξης του επεισοδίου) καθώς και ελάχιστη ανακλαστικότητα Z_{min} για χαλάζι στο έδαφος: προσδιορίζονται από τη μορφή της κατακόρυφης τομής RHI της καταιγίδας, όταν δηλ. η Z_{max} δεν είναι ψηλά αλλά φτάνει ως το έδαφος. Αυτό, σε συνδυασμό με τη θέση της καταιγίδας, τις αναφορές για χαλάζι σε συγκεκριμένη περιοχή και πληροφορίες από το δίκτυο χαλαζομέτρων, οδηγεί στην ταυτοποίηση καταιγίδας και βεβαιωμένης χαλαζόπτωσης. Πρέπει να επισημανθεί ότι υφίσταται μια πολλαπλότητα όχι μεγαλύτερη από 5%, δηλ. η ίδια περιοχή πλήττεται από δύο χαλαζοπτώσεις την ίδια ημέρα. 4. Διάρκεια σποράς DS (χρόνος έναρξης και λήξης) και καταναλωθέντα ποσά AgI: προσδιορίζονται από το καταγραφικό σύστημα των πτήσεων σε συνδυασμό με το καταγραφικό του ρανιάρ. Γίνεται δυνατή έτσι η ταυτοποίηση της καταιγίδας που κάθε στιγμή σπερνόταν και του αριθμού των φυσιγγίων που εξαπολύονταν εναντίον της. Επειδή η χαλαζόπτωση και η σπορά μπορούν να συμβαίνουν κατά κύματα, τα μεγέθη DH και DS παριστάνουν το συνολικό χρονικό διάστημα χαλαζόπτωσης και σποράς. 5. Χαρακτηρισμός των καταιγίδων ως μονοκυτταρικών (singlecells) και πολυκυτταρικών (multicells): η διάκριση των πολυκυτταρικών βασίζεται στη μορφή των καταιγίδων στο PPI, όπου φαίνονται θυγατρικά νέφη και κύτταρα σε διάφορα στάδια εξέλιξης, στο σημαντικά μεγαλύτερο χρόνο ζωής τους και στο μεγαλύτερο αριθμό ευδιάκριτων μεγίστων (≥ 3) που εμφανίζει η κατανομή της ανακλαστικότητάς τους στο χρόνο. Η περιοχή Α1 φαίνεται στο Σχήμα 1.

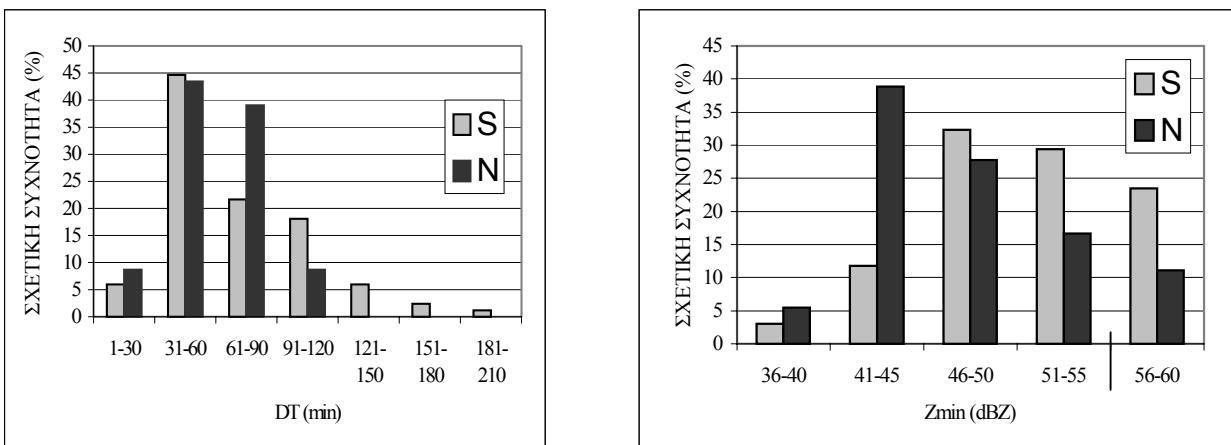
Πρώτα-πρώτα συγκρίνονται οι σπαρμένες και οι άσπαρτες καταιγίδες της περιοχής Α1. Ακολούθως, διερευνώνται τα χαρακτηριστικά των μονοκυτταρικών και πολυκυτταρικών καταιγίδων ποιοτικά και ποσοτικά. Έπειτα εξετάζεται η επίδραση της σποράς στα μακροσκοπικά τους χαρακτηριστικά, δηλαδή στα χαρακτηριστικά τους που μετρώνται με τη βοήθεια του ρανιάρ. Ο ρυθμός αύξησης και ελάττωσης της ανακλαστικότητας και του ύψους κορυφής των καταιγίδων μελετώνται συναρτήσει του χρόνου σποράς. Για ακριβέστερη διερεύνηση γίνεται και στρωμάτωση των δεδομένων ανάλογα με τη μέγιστη ανακλαστικότητα. Τέλος εξετάζεται η επάρκεια του χρόνου και του υλικού σποράς για τις περιπτώσεις κατά τις οποίες είχαμε χαλάζι στο έδαφος ή δεν είχαμε.



Σχήμα 1. Η περιοχή A1 της Κεντρικής Μακεδονίας.
Figure 1. Area A1 of Central Macedonia.

3. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΣΠΑΡΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΑΣΠΑΡΤΩΝ ΚΑΤΑΙΓΙΔΩΝ

Για τις 249 σπαρμένες και τις 69 άσπαρτες καταιγίδες της περιοχής A1 εξετάστηκαν οι κατανομές των προαναφερθεισών ποσοτήτων. Τα πιο ενδιαφέροντα συμπεράσματα προέκυψαν για την κατανομή του χρόνου ζωής, στην οποία η συχνότητα των σπαρμένων στην κλάση 61–90 min ελαττώνεται περίπου στο μισό αυτής των άσπαρτων, υποδηλώνοντας ότι γενικά η διάρκεια ζωής ελαττώνεται με τη σπορά, και για την κατανομή της Z_{min} για χαλάζι, όπου στις κλάσεις 36–40 και 41–45 dBZ παρατηρείται ουσιαστική μείωση της συχνότητας (Σχήμα 2), υποδηλώνοντας ιδιαίτερη αποτελεσματικότητα της σποράς για ανακλαστικότητα μικρότερες από 45 dBZ.



Σχήμα 2. Κατανομή DT (αριστερά) και Z_{min} για χαλάζι (δεξιά) σπαρμένων και άσπαρτων καταιγίδων (S=σπαρμένες, N=άσπαρτες).
Figure 2. Distribution of lifetime DT (left) and minimum reflectivity Z_{min} for hail (right) of seeded (S) and not seeded (N) storms.

Πρέπει εδώ να επισημανθεί ότι ο λόγος που κάποιες καταιγίδες δεν υπέστησαν σπορά δεν ήταν για σύγκριση με σπαρμένες, αλλά οφειλόταν σε άλλους παράγοντες (π.χ. καθυστέρηση λόγω εναέριας κυκλοφορίας, ταυτόχρονη εκδήλωση πολλών καταιγίδων, κ.λπ.).

Εξετάζεται στη συνέχεια πόσες από τις σπαρμένες και τις άσπαρτες καταιγίδες έδωσαν τελικά χαλάζι στο έδαφος. Διαπιστώνεται ότι 102 από τις 249 σπαρμένες (40.9%) και 54 από τις 69 άσπαρτες (78.2%) έδωσαν χαλάζι. Η σύγκριση των αναλογιών με έλεγχο χ^2 δείχνει ότι η μείωση της αναλογίας χαλαζιού σε σπαρμένες καταιγίδες είναι στατιστικά σημαντική σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=0.05$ (p -value = 0.0015).

4. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΟΝΟΚΥΤΤΑΡΙΚΩΝ ΚΑΙ ΠΟΛΥΚΥΤΤΑΡΙΚΩΝ ΚΑΤΑΙΓΙΔΩΝ

Ο διαχωρισμός σε μονοκυτταρικές και πολυκυτταρικές καταιγίδες έγινε επειδή οι δύο τύποι παρουσιάζουν κάποιες διαφορές, οι οποίες είναι ουσιώδεις για τις επιχειρήσεις σποράς. Τα έμβρυα του χαλαζιού αναπτύσσονται μέσα στο εξελισσόμενο με το χρόνο κύριο ανοδικό ρεύμα των μονοκυτταρικών, ενώ στις πολυκυτταρικές μέσα στα ανοδικά ρεύματα των αναπτυσσόμενων θυγατρικών νεφών ή πυργοειδών αναπτύξεων που είναι διατεταγμένες πλευρικά τους (Browning, 1977 και Foote, 1984). Οι συγκεκριμένες αυτές θέσεις αποτελούν και τους στόχους της σποράς, με σκοπό την ελάττωση του διαθέσιμου υπέρψυχρου νεφικού νερού και την πρόληψη σχηματισμού μεγάλων χαλαζοκόκκων (Dennis and Koscielski, 1972).

Τόσο στις μονοκυτταρικές όσο και στις πολυκυτταρικές η ανακλαστικότητα και το ύψος κορυφής ακολουθούν γενικά παραπλήσιες χρονικές κατανομές, με τα μέγιστα και τα ελάχιστα να εμφανίζονται σχεδόν στο ίδιο χρονικό βήμα. Επίσης, οι πολυκυτταρικές μπορούν να ρίχνουν χαλάζι σε διάφορα στάδια της ζωής τους που συνδέονται με τα μέγιστα της ανακλαστικότητάς τους.

Εξετάζοντας τις 249 σπαρμένες καταιγίδες (162 μονοκυτταρικές, 87 πολυκυτταρικές), παρατηρούμε ότι μόνο 30 μονοκυτταρικές (18%) και 72 πολυκυτταρικές (83%) έδωσαν χαλάζι στο έδαφος. Με έλεγχο χ^2 προκύπτει ότι η διαφορά των αναλογιών είναι στατιστικά σημαντική σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=0.05$ (p -value = $1.39 \cdot 10^{-8}$), άρα στις μονοκυτταρικές η σπορά είναι πολύ πιο αποτελεσματική.

5. ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΗΣ ΣΠΟΡΑΣ

Για τη διαπίστωση της επίδρασης της σποράς εξετάζονται οι ρυθμοί ανόδου της ανακλαστικότητας Z και του ύψους κορυφής H από το χρόνο εμφάνισης ως την απολύτως μέγιστη ανακλαστικότητα Z_{max} και οι ρυθμοί πτώσης τους από αυτήν ως το χρόνο διάλυσης. Γίνεται διάκριση μεταξύ μονοκυτταρικών και πολυκυτταρικών, καθώς επίσης και ανάλογα με το αν υπέστησαν σπορά πριν ή μετά τη Z_{max} . Τα αποτελέσματα για τους μέσους ρυθμούς φαίνονται στον Πίνακα 1, σε μονάδες dBZ/hr και km/hr που εύκολα μπορούν να αναχθούν σε μικρότερα χρονικά διαστήματα.

Πίνακας 1. Ρυθμοί ανόδου και πτώσης ανακλαστικότητας και ύψους κορυφής.

Table 1. Increase and fall rates for reflectivity Z and cloud top height H .

	$dZ/dt \square$	$dZ/dt \square$	$dH/dt \square$	$dH/dt \square$
Μονοκυτταρικές, σπορά πριν	63.8	44.1	12.9	12.7
Μονοκυτταρικές, σπορά μετά	68.5	41.9	20.4	11.1
Πολυκυτταρικές, σπορά πριν	26.9	35.3	11.3	10.1
Πολυκυτταρικές, σπορά μετά	49.1	34.0	9.1	7.6
Μονοκυτταρικές	66.1	42.6	17.4	11.5
Πολυκυτταρικές	36.3	34.7	10.4	9.0
Σπορά πριν το Z_{max}	46.5	40.0	12.3	11.4
Σπορά μετά το Z_{max}	63.0	39.2	17.6	10.3

Από τον Πίνακα 1 συνάγονται τα ακόλουθα συμπεράσματα: 1. Ο ρυθμός ανόδου των Z , H για τις μονοκυτταρικές είναι μεγαλύτερος από αυτόν των πολυκυτταρικών. 2. Ο ρυθμός ανόδου των Z , H είναι μεγαλύτερος από το ρυθμό πτώσης τους για τις μονοκυτταρικές, ενώ για τις πολυκυτταρικές είναι παραπλήσιος. 3. Ο ρυθμός πτώσης των Z , H είναι μικρότερος του ρυθμού ανόδου τους αν σπαρούν μετά το Z_{max} , ενώ είναι παραπλήσιος αν σπαρούν πριν το Z_{max} . 4. Οι ρυθμοί ανόδου των Z , H αν η

σπορά γίνεται πριν το Z_{max} είναι μικρότεροι από τους αντίστοιχους αν η σπορά γίνεται μετά, ενώ οι ρυθμοί πτώσης τους είναι παραπλήσιοι για σπορά πριν και μετά. 5. Αν οι μονοκυτταρικές σπαρούν πριν το Z_{max} , οι ρυθμοί ανόδου των Z, H είναι μικρότεροι από ό,τι αν σπαρούν μετά, ενώ οι ρυθμοί πτώσης τους είναι παραπλήσιοι. 6. Αν οι πολυκυτταρικές σπαρούν πριν το Z_{max} , ο ρυθμός ανόδου της Z είναι σχεδόν μισός από ό,τι αν σπαρούν μετά, ενώ ο αντίστοιχος ρυθμός ανόδου της H είναι μεγαλύτερος. 7. Όλοι οι ρυθμοί ανόδου της H είναι μεγαλύτεροι των ρυθμών πτώσης της. Το ίδιο ισχύει για τη Z, εκτός από την περίπτωση πολυκυτταρικών που σπέρνονται πριν το Z_{max} , οπότε ισχύει το αντίθετο.

Γενικά, όσο νωρίτερα σπέρνονται οι καταιγίδες τόσο καλύτερα. Το μεγαλύτερο αποτέλεσμα το φέρνει η έγκαιρη σπορά στο ρυθμό ανόδου της ανακλαστικότητας στις πολυκυτταρικές και του ύψους κορυφής στις μονοκυτταρικές (ελαττώνοντάς τους).

Για την πληρέστερη διερεύνηση της επίδρασης της σποράς στα Z, H έγινε στρωμάτωση των ρυθμών ανόδου τους (που ενδιαφέρουν πιο πολύ), ανάλογα με την τιμή της Z_{max} . Έτσι, τα δεδομένα χωρίστηκαν σε τρεις κλάσεις: $Z_{max} < 45$ dBZ, $45 \leq Z_{max} < 55$ dBZ και $Z_{max} \geq 55$ dBZ. Ο Πίνακας 2 δίνει τους μέσους ρυθμούς για τις διάφορες κλάσεις στις προαναφερθείσες μονάδες (S=μονοκυτταρικές, M=πολυκυτταρικές).

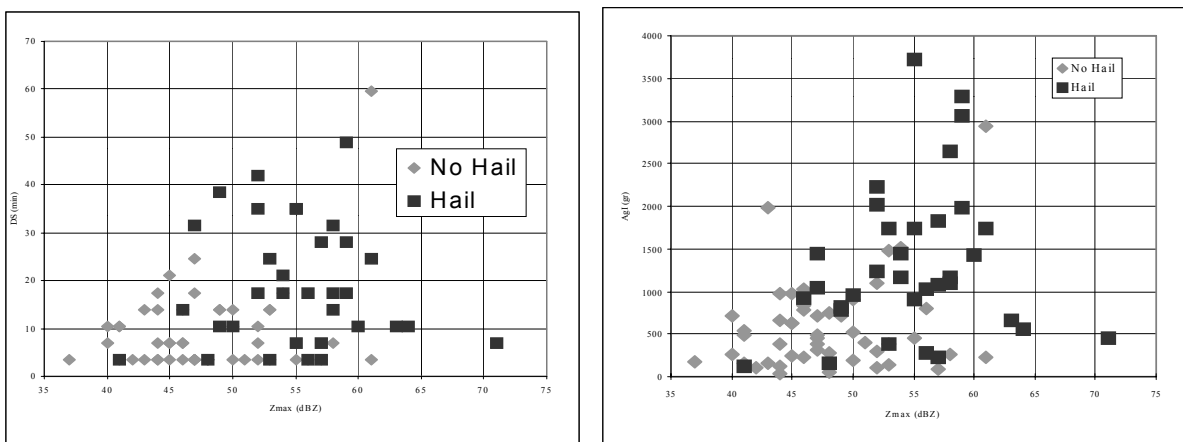
Πίνακας 2. Στρωματοποιημένοι ρυθμοί ανόδου ανακλαστικότητας και ύψους κορυφής.
Table 2. Stratified increase rates for reflectivity and cloud top height.

	dZ/dt □						dH/dt □					
	$Z_{max} < 45$		$45 < Z_{max} < 55$		$Z_{max} \geq 55$		$Z_{max} < 45$		$45 < Z_{max} < 55$		$Z_{max} \geq 55$	
σπορά	S	M	S	M	S	M	S	M	S	M	S	M
πριν	67.1	-	52.5	17.1	92.2	30.9	8.9	-	14.6	6.2	14.5	13.6
μετά	76.9	-	63.1	54.6	69.0	41.6	24.8	-	18.5	8.3	16.9	10.1

Μια πρώτη παρατήρηση είναι ότι για τις πολυκυτταρικές ισχύει: $Z_{max} \geq 45$ dBZ. Στις άλλες δύο κλάσεις εφαρμόστηκαν μη παραμετρικοί έλεγχοι που φανερώνουν ότι για έγκαιρη σπορά ο ρυθμός ανόδου της Z και της H είναι μικρότερος στις πολυκυτταρικές (μεγαλύτερη η επίδραση της σποράς) από ό,τι στις μονοκυτταρικές (για $45 \leq Z_{max} < 55$ σε $\alpha=0.05$, $p=0.013$, για $Z_{max} \geq 55$ σε $\alpha=0.1$, $p=0.096$, στατιστικά σημαντικά αποτελέσματα), ενώ για σπορά μετά το Z_{max} ο ρυθμός ανόδου της Z είναι μικρότερος στις πολυκυτταρικές για $Z_{max} \geq 55$ σε $\alpha=0.05$, $p=0.039$ (επίσης στατιστικά σημαντικό το αποτέλεσμα).

Συγκρίνοντας τέλος σπαρμένες και άσπαρτες καταιγίδες, παρατηρούμε ότι με τη σπορά ο μέσος χρόνος ζωής ελαττώνεται κατά 6 min στις μονοκυτταρικές και κατά 13 min στις πολυκυτταρικές.

6. ΕΠΑΡΚΕΙΑ ΤΗΣ ΣΠΟΡΑΣ



Σχήμα 3. Διαγράμματα διάρκειας σποράς DS (αριστερά), ποσού χρησιμοποιημένου AgI (δεξιά) και μέγιστης ανακλαστικότητας Z_{max} με ή χωρίς χαλάζι.
Figure 3. Scatterplots of seeding duration DS (left), amount of used AgI (right) and maximum reflectivity Z_{max} with or without hail.

Εξετάζοντας στη συνέχεια τα διαγράμματα διασποράς της διάρκειας σποράς DS και του ποσού του καταναλωθέντος AgI σε συνάρτηση με τη μέγιστη ανακλαστικότητα και με το αν είχαμε ή όχι χαλάζι στο έδαφος (Σχήμα 3), παρατηρούμε ότι ως τα 45 dBZ (δηλ. στις μονοκυτταρικές) η διάρκεια και το υλικό σποράς είναι ικανοποιητικά.

Η σπορά όμως των πολυκυτταρικών απαιτεί μεγαλύτερα ποσά AgI και διάρκεια σποράς, η οποία πρέπει να γίνεται πιο έγκαιρα και να είναι συνεχής. Όταν όμως υπάρχουν πολλά κύτταρα μέσα στην περιοχή προστασίας προτιμάται η σπορά από λίγο των περισσότερων, με αποτέλεσμα τη χαλαζόπτωση από τα περισσότερα. Απαιτείται λοιπόν χάρτης προτεραιότητας για επέμβαση ανάλογα με την αξία των καλλιεργειών και την εποχή (βλαστικό στάδιο) αν θέλουμε τη μείωση του κόστους των συνολικών αποζημιώσεων.

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τη μελέτη αυτή εξάγονται τα εξής συμπεράσματα:

1. Υπάρχει σημαντική μείωση της αναλογίας χαλαζιού στις σπαρμένες καταιγίδες σε σύγκριση με τις άσπαρτες.
2. Η σπορά στις μονοκυτταρικές καταιγίδες είναι πιο αποτελεσματική.
3. Η διάρκεια ζωής των καταιγίδων μειώνεται ελαφρώς με τη σπορά.
4. Όταν η σπορά είναι έγκαιρη, ελαττώνει το ρυθμό αύξησης της ανακλαστικότητας και του ύψους κορυφής σε όλες σχεδόν τις πολυκυτταρικές καταιγίδες.
5. Η διάρκεια και το υλικό σποράς ως $Z_{\max}=45$ dBZ (δηλ. στις μονοκυτταρικές κυρίως) είναι ικανοποιητικά, ενώ για $Z_{\max} >45$ dBZ απαιτούνται μεγαλύτερα ποσά υλικού και διάρκειες σποράς.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1]Browning, K.A., 1977: The structure and mechanisms of hailstorms. Hail: A review of Hail Science and Hail Suppression. *Meteor. Monograph.*, **16**, **38**, 1-43.
- [2]Dennis, A.S., and A. Koscielski, 1972: Height and temperature of first echoes in seeded and unseeded convective clouds in South Dakota. *J. Appl. Meteorol.*, **11**, 994-1000.
- [3]Foote, G.B., 1984: The study of hail growth utilizing observed storm conditions. *J. Appl. Meteorol.*, **23**, 84-101.