



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**



Πτυχιακή εργασία:

ΤΕΧΝΗΤΟ ΧΙΟΝΙ ΓΙΑ ΧΙΟΝΟΔΡΟΜΙΕΣ ΚΑΙ ΟΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΟΥ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

ΜΑΡΑΝΤΙΔΟΥ ΠΕΛΑΓΙΑ

Επιβλέπων: Καθ. Αναστασόπουλος Ηλίας

Λάρισα 2024



**UNIVERSITY OF THESSALY
SCHOOL OF TECHNOLOGY
DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL SCIENCES**



Degree Thesis:

ARTIFICIAL SNOW FOR SKIING AND ITS IMPACTS ON THE ENVIRONMENT

MARANTIDOU PELAGIA

Supervisor: Prof. Anastassopoulos Ilias

Larissa 2024

Ενυπόγραφη δήλωση μη λογοκλοπής

Ο/Η παρακάτω υπογράφων/-ουσα δηλώνω ότι η παρούσα εργασία είναι δική μου, δεν έχει συγγραφεί από άλλο πρόσωπο με ή χωρίς αμοιβή, δεν έχει αντιγραφεί από δημοσιευμένη ή αδημοσίευτη εργασία άλλου και δεν έχει προηγουμένως υποβληθεί για βαθμολόγηση στο Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας ή αλλού. Βεβαιώνω ότι είμαι εν γνώσει των κανόνων περί λογοκλοπής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας και ότι στο πλαίσιο αυτό έχουν τηρηθεί όλοι οι κανόνες κατά την ακαδημαϊκή δεοντολογία, σχετικά με αναφορές, βιβλιογραφία, κ.λπ., τόσο από έντυπες όσο και από ηλεκτρονικές πηγές. Σε περίπτωση λογοκλοπής αποδέχομαι όλες ανεξαιρέτως τις ποινές που προβλέπουν οι εκάστοτε Κανονισμοί του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας.

Ημερομηνία: 12/09/2024

Ονοματεπώνυμο: Μαραντίδου Πελαγία

Υπογραφή:

Εγκρίθηκε από τα Μέλη της Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής:

.....
.....
.....

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία εκπονήθηκε στο εργαστήριο Βιοτεχνολογίας του Τμήματος Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας.

Την επίβλεψη της είχε ο Καθηγητής του Τμήματος Περιβάλλοντος κ. Αναστασόπουλος Ηλίας, τον οποίο και ευχαριστώ θερμά για την ανάθεση του θέματος, την βοήθεια και καθοδήγηση του, καθώς και όλες τις διευκρινήσεις που μου παρείχε καθ' όλη τη διάρκεια της πτυχιακής εργασίας μου.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου, τον σύζυγο μου, που με στήριξε στην προσπάθεια αυτή. Στα τέσσερα παιδιά μου, που μαζί με ορισμένους φίλους πίστεψαν σε εμένα και με ενθάρρυναν να προχωρήσω.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το νερό αποτελεί την σημαντικότερη χημική ένωση στον πλανήτη και είναι απαραίτητη ουσία για την ύπαρξη αλλά και την διατήρηση της ζωής. Η Γη στο μεγαλύτερο μέρος της καλύπτεται με νερό, το οποίο αποτελεί επίσης κύριο συστατικό όλων των ζωντανών οργανισμών. Ο ρόλος επομένως του νερού είναι πολυδιάστατος, αφού σχετίζεται, μεταξύ άλλων, με την ικανοποίηση βασικών αναγκών στον άνθρωπο, τη ρύθμιση του κλίματος αλλά και τη διατήρηση της βιοποικιλότητας. Το νερό υπάρχει στην φύση σε τρεις καταστάσεις, την στερεή, την υγρή και την αέρια. Όταν το νερό βρεθεί σε θερμοκρασία χαμηλότερη της θερμοκρασίας πήξης του νερού (0°C) έχουμε την δημιουργία κρυστάλλων πάγου (π.χ. σε μορφή χιονιού ή χαλαζιού), εκτός και αν πρόκειται για υπέρψυχρο νερό, οπότε παραμένει σε υγρή κατάσταση.

Το χιόνι καλύπτει πολλές περιοχές του πλανήτη, επιφάνειες της ξηράς, της θάλασσας, ποταμών και λιμνών, καθορίζοντας συχνά το κλίμα και την υδρολογία, ενώ επιδρά στην ανακατανομή του νερού κατά τον υδρολογικό κύκλο. Η επαφή με το χιόνι έδωσε στον άνθρωπο την δυνατότητα βελτίωσης της φυσικής του κατάστασης και υγείας, μέσω της διεξαγωγής χειμερινών αθλημάτων όπως χιονοδρομία (skiing) και χιονοσανίδα (snowboard). Η διαρκώς αυξανόμενη ανάγκη για χειμερινή άθληση οδήγησε στη δημιουργία περισσότερων χιονοδρομικών κέντρων, τα οποία προσφέρουν έναν μοναδικό συνδυασμό αναψυχής, επαφής με τη κοινότητα και τη φύση.

Ωστόσο η υπερθέρμανση του πλανήτη και η κλιματική αλλαγή έχουν οδηγήσει στην μεταβολή των καιρικών συνθηκών και θερμοκρασιών, με αποτέλεσμα οι χειμώνες να είναι πλέον θερμότεροι. Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με την ανάγκη λειτουργίας των χιονοδρομικών κέντρων για μεγαλύτερα χρονικά διαστήματα ανεξαρτήτως καιρικών συνθηκών που επικρατούν, οδήγησε στην δημιουργία του τεχνητού χιονιού και τη χρήση μηχανών παραγωγής τεχνητής χιόνωσης (κανόνια χιονιού). Πρόκειται δηλαδή για παραγωγή χιονιού μέσω ανθρώπινης παρέμβασης και χρήσης μηχανών.

Η παρούσα διπλωματική εργασία εξετάζει τα οφέλη του τεχνητού χιονιού και των τεχνολογιών παραγωγής τεχνητού χιονιού, όπως επίσης σε ποια χιονοδρομικά κέντρα της Ελλάδας έχουν αξιοποιηθεί, ενώ εστιάζει και στον αντίκτυπο που επιφέρει το τεχνητό χιόνι στο περιβάλλον. Γίνεται αναφορά στους παγοπυρηνωτικούς παράγοντες και την χρήση παγοπρωτεϊνών ως πρόσθετων για την ταχύτερη και πιο αποδοτική παραγωγή χιονιού. Η δράση των παγοπυρηνωτικών παραγόντων και συγκεκριμένα της παγοπρωτεΐνης Snomax στην επαγωγή κρυστάλλωσης εξακριβώθηκε κατόπιν πειραματικής μελέτης στο εργαστήριο. Τέλος, τονίζεται η ανάγκη εύρεσης νέων μεθόδων και εναλλακτικών λύσεων, φιλικότερων προς το περιβάλλον.

Λέξεις- κλειδιά: χιόνι, χιονοδρομίες, χιονοκάλυψη, κανόνια χιονιού, τεχνητό χιόνι, παγοπυρήνωση, snomax

ABSTRACT

Water is the most important chemical compound on the planet and is essential for the existence and maintenance of life. Most of the Earth is covered with water, which is also the main component of all living organisms. The role of water is therefore multi-dimensional, ranging from satisfying basic biological processes and meeting basic human needs, to regulating the climate and maintaining biodiversity. Water exists in nature in three states: solid, liquid and gas. When water is at a temperature below the freezing point of water (0°C), ice crystals form, water particles precipitate and thus snow is formed, unless it is at a supercooled state

Snow covers many areas of the planet, land, sea, river and lake surfaces, often determining climate and hydrology, and influencing the redistribution of water during the hydrological cycle. Contact with snow has enabled humans to improve their fitness and health through the practice of winter sports such as skiing and snowboarding. The ever-increasing demand has led to the creation of more ski resorts, which offer a unique combination of recreation, contact with the community and nature, turning winter into a source of joy and activity.

However, global warming and climate change have led to changing weather patterns and temperatures, resulting in warmer winters. This, combined with the need for ski resorts to operate for longer periods of time regardless of the prevailing weather conditions, has led to the creation of artificial snow and snowmaking machines. This is snow production through human intervention and the use of machines.

This thesis examines the benefits of artificial snow and artificial snow production technologies, in which ski resorts especially in Greece have been exploited, while focusing on the negative impact it has on the environment. Reference is made to the ice nucleating agents and the use of these proteins as additives for faster and more efficient snow production. The effect of the ice nucleating agents, in particular Snomax, was verified after an experimental study in the laboratory. Finally, the need to find new methods and alternatives that are more environmentally friendly is stressed.

Keywords: snow, skiing, snow cover, snow cannons, artificial snow, ice nucleation, snomax

Περιεχόμενα

ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ.....	10
Κεφάλαιο 1: Νερό	11
Εισαγωγή	11
Δομή του νερού	12
Φάσεις νερού-Καταστάσεις.....	12
Ιδιότητες	13
Κύκλος νερού	14
Κεφάλαιο 2: Χιόνι	16
Ορισμός	16
Μορφές χιονιού	17
Ιδιότητες χιονιού.....	18
Φυσικές ιδιότητες	18
Οπτικές Ιδιότητες	18
Ηλεκτρικές Ιδιότητες.....	19
Χιόνι στην Ελλάδα	19
Κεφάλαιο 3: Χιονοδρομικά κέντρα.....	21
Εισαγωγή	21
Χιονοδρομικά κέντρα στην Ελλάδα.....	22
Άλλα χαρακτηριστικά χιονοδρομικών κέντρων	27
Βελτίωση της φυσικής κατάστασης και της ψυχικής υγείας.....	27
Βελτίωση της κοινωνικότητας.....	29
Ενίσχυση τοπικής οικονομίας	29
Κεφάλαιο 4: Προσθήκη πρωτεϊνών κατά τη παραγωγή τεχνητού χιονιού	31
Πρωτεΐνες και βακτήρια ως εκκινητές παγοπυρήνωσης-παγοπυρηνωτικοί παράγοντες.....	31
Snomax	32
Εισαγωγή	32
Τρόπος λειτουργίας	33
Θετικά.....	33
Κεφάλαιο 5: Τεχνητό χιόνι.....	35
Ομογενής και ετερογενής παγοπυρήνωση	35
Ορισμός τεχνητού χιονιού	35
Ιστορική αναδρομή.....	36
Τρόπος δημιουργίας	37
Διαφορές τεχνητού και φυσικού χιονιού	38

Τεχνολογίες παραγωγής τεχνητού χιονιού	39
Κανόνια χιονιού.....	39
Λόγχεις χιονιού.....	41
Τεχνητά Σύννεφα.....	42
Χιονοδρομικά κέντρα στην Ελλάδα με τεχνολογίες παραγωγής τεχνητού χιονιού	43
Κεφάλαιο 6: Περιβαλλοντικό αποτύπωμα	46
Εισαγωγή	46
Έδαφος και βλάστηση	46
Κατανάλωση ενέργειας	47
Κατανάλωση νερού	49
Ανθρώπινη υγεία	50
ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	51
Μελέτη της επίδρασης των εμπορικών σκευασμάτων παγοπυρηνωτικών παραγόντων (Snomax) στην δημιουργία κρυστάλλων πάγου.....	52
Υλικά	52
Εξοπλισμός.....	53
Πειραματική Διαδικασία	53
Ανάλυση αποτελεσμάτων.....	56
ΣΥΖΗΤΗΣΗ	58
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	62
ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	63
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	66

ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Κεφάλαιο 1: Νερό

Εισαγωγή

Το νερό είναι υψίστης σημασίας ουσία για την ύπαρξη και τη διατήρηση της ζωής. Το 71% περίπου της επιφάνειας της Γης καλύπτεται από νερό, με τις μεγαλύτερη ποσότητα αυτού να αποτελεί αλμυρό νερό και να εντοπίζεται στους ωκεανούς και τις θάλασσες. Σημαντική ποσότητα βρίσκεται επίσης στα ποτάμια και τις λίμνες, ενώ συναντάται ακόμη και με τη μορφή χιονιού ή πάγου όπως για παράδειγμα στους παγετώνες ή τις πολικές περιοχές ή και την ατμόσφαιρα με μορφή υδρατμών.²⁰

Είναι ανόργανη χημική ένωση που αποτελείται από δύο άτομα υδρογόνου και ένα άτομο οξυγόνου, που αν και θεωρητικά δεν έχει χρώμα, σε μεγάλους όγκους νερού δίνει την αίσθηση αποχρώσεων του μπλε και του πράσινου λόγω της απορρόφησης και της διάχυσης του φωτός.

Το νερό εντοπίζεται επίσης μέσα στους οργανισμούς, στον άνθρωπο σε ποσοστό 60-70% ενώ το ποσοστό αυτό ποικίλει ανάλογα με τον οργανισμό. Το νερό καθώς παίζει καθοριστικό ρόλο στις βιοχημικές αντιδράσεις των οργανισμών, τη ρύθμιση και διατήρηση της θερμοκρασίας αυτών, ενώ μπορεί επίσης να μεταφέρει θρεπτικά συστατικά μέσα στο σώμα. Αποτελεί άλλωστε κύριο συστατικό του αίματος το οποίο μεταφέρει οξυγόνο και θρεπτικά συστατικά στα κύτταρα.²¹

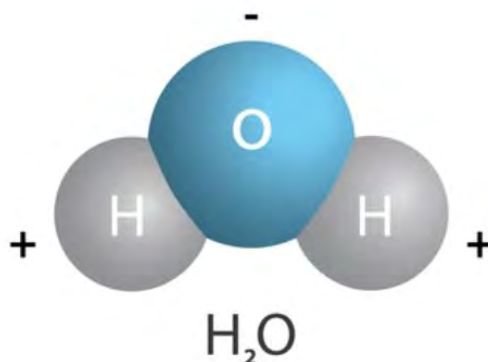


Εικόνα 1. Νερό

(https://encrypted-tbn1.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcRXawRZEnWeBMl9sIIThPmg1Sc99KsVMf8g9gYHW_3zcRaklbjJ)

Δομή του νερού

Ένα μόριο νερού αποτελείται από δύο άτομα υδρογόνου και ένα άτομο οξυγόνου, συνδεδεμένα με ομοιοπολικούς δεσμούς, με τους δύο πυρήνες να μοιράζονται τα ηλεκτρόνια τους. Οι ομοιοπολικοί δεσμοί σχηματίζονται λόγω της διαφοράς δυναμικού μεταξύ του ατόμου του οξυγόνου (αρνητικό φορτίο) και των δύο ατόμων υδρογόνου (θετικό φορτίο).²²



Εικόνα 2. Μοριακή δομή νερού

(https://encrypted-tbn3.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcQomMjTbrS8os1D9dIZsKWHEbuvMzy_mI-Fs_kpBXwVDLWfN0pd)

Φάσεις νερού-Καταστάσεις

Το νερό είναι ουσία που εντοπίζεται στη φύση σε τρεις καταστάσεις, τη στερεή, την υγρή και την αέρια, ενώ μπορεί να μεταβεί από τη μία στην άλλη μέσω φυσικών διεργασιών όπως η τήξη, η πήξη, η εξάτμιση και συμπύκνωση. Μεταξύ των διαφόρων μορίων νερού σχηματίζονται δεσμοί υδρογόνου, ισχυρές συνεπώς διαμοριακές δυνάμεις. Στην υγρή κατάσταση λόγω της θερμότητας που περιέχεται στο σύστημα τα μόρια κινούνται, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται δεσμοί υδρογόνου αλλά και να διασπώνται συνεχώς. Όταν η θερμοκρασία φτάσει τους 100°C, η θερμότητα και η κινητική ενέργεια των μορίων αυξάνονται και έχουμε έτσι την διάσπαση των δεσμών υδρογόνου και τα μόρια νερού διαφεύγουν στην ατμόσφαιρα με τη μορφή υδρατμών μέσω της εξάτμισης. Στην περίπτωση που η θερμοκρασία του νερού είναι χαμηλότερη από 0°C τα μόρια του νερού θα έχουν μια στερεή κρυσταλλική δομή αφού δεν θα υπάρχει ενέργεια για να μπορέσουν να σπάσουν οι δεσμοί υδρογόνου.^{23,24}



Εικόνα 3. Καταστάσεις του νερού

(<https://myschlab.com/wp-content/uploads/2021/10/statesofmatter-1024x771.png.webp>)

Ιδιότητες

Το νερό αποτελεί παγκόσμιο διαλύτη με τις περισσότερες χημικές ενώσεις να διαλύονται σε αυτόν και συχνά να αναφέρεται και ως ο «διαλύτης της ζωής». Μερικές από τις σπουδαιότερες ιδιότητες του νερού συνοψίζονται παρακάτω:

ο Πολικότητα

Το νερό παρουσιάζει υψηλή πολικότητα, πρόκειται δηλαδή για εξαιρετικά πολικό διαλύτη. Στο μόριο του νερού, το οξυγόνο είναι ηλεκτραρνητικότερο σε σχέση με το υδρογόνο, για αυτό και έλκει το ζεύγος ηλεκτρονίων περισσότερο προς αυτό, δημιουργώντας έτσι αρνητικό φορτίο κοντά στο οξυγόνο και θετικό στο υδρογόνο. Η διαφορά αυτή στο φορτίο δημιουργεί τη πολικότητα. Χάρη στη πολικότητα του αυτή, το νερό έχει τη δυνατότητα να διαχωρίζει τα ιόντα στα άλατα και να συνδέεται με άλλες πολικές ενώσεις, διαλύοντας τα.^{16,62,63}

ο Πυκνότητα

Η πυκνότητα του νερού είναι περίπου 0.997 g/cm^3 στους 25°C , με μέγιστη πυκνότητα 1 g/cm^3 στους 3.98°C .⁶²

ο Ιξώδες

Το νερό παρουσιάζει υψηλό σχετικά ιξώδες, $0.8903 \text{ centipoise}$, με τη τιμή του να επηρεάζεται όμως από τη θερμοκρασία, τη πίεση ή την παρουσία διαλυμένων ουσιών σε αυτό. Συγκεκριμένα με την άνοδο της θερμοκρασίας το ιξώδες μειώνεται, ενώ αυξάνεται σε υψηλότερες πιέσεις.⁶²

Ο Λανθάνουσα θερμοχωρητικότητα και θερμότητα εξάτμισης

Το νερό έχει υψηλή λανθάνουσα θερμότητα, θερμότητα που απορροφάται ή απελευθερώνεται όταν μια ουσία αλλάζει κατάσταση. Συγκεκριμένα, το νερό έχει υψηλή λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης, περίπου 40.65 KJ/mol, απαιτείται άρα αρκετή ενέργεια προκειμένου να σπάσουν οι δεσμοί υδρογόνου και να εξατμιστεί το νερό, να μεταβεί δηλαδή από την υγρή στην αέρια φάση. Συνεπώς το νερό για να εξατμιστεί καταναλώνει πολύ ενέργεια-θερμότητα και το γεγονός αυτό εκμεταλλεύονται οι οργανισμοί για να ρυθμίσουν την θερμοκρασία του σώματος τους. Έτσι, όταν οι οργανισμοί ιδρώνουν, τα μόρια νερού που εξατμίζονται από το σώμα απομακρύνουν μαζί και την θερμότητα του σώματος τους.

Ο Ειδική θερμοχωρητικότητα

Η ειδική θερμοχωρητικότητα δείχνει πόσο θερμική ενέργεια χρειάζεται για να μπορέσει να αυξηθεί η θερμοκρασία ενός κιλού νερού κατά 1 K (βαθμό Kelvin). Το νερό παρουσιάζει υψηλή ειδική θερμοχωρητικότητα, άρα χρειάζεται πολύ θερμική ενέργεια για να αλλάξει η θερμοκρασία του και συνεπώς το νερό έχει συνήθως μια σχετικά σταθερή θερμοκρασία.^{16,62,63}

Κύκλος νερού

Η Γη είναι ένα πολύπλοκο σύστημα και αποτελείται από την ατμόσφαιρα, την υδρόσφαιρα και το έδαφος. Ο κύκλος του νερού δείχνει την συνεχή κυκλοφορία του νερού μέσα σε αυτό το σύστημα, πως δηλαδή το νερό μεταβαίνει από την Γη στην ατμόσφαιρα και επιστρέφει πίσω. Πρόκειται για πολύπλοκο σύστημα που περιλαμβάνει διαφορετικές επιμέρους διεργασίες. Αρχικά το υγρό νερό που βρίσκεται στην επιφάνεια της Γης (λίμνες, ποτάμια κα.) εξατμίζεται σε υδρατμούς λόγω της ηλιακής ακτινοβολίας και ανεβαίνει στην ατμόσφαιρα, μέσω μιας διεργασίας που ονομάζεται εξάτμιση. Εκεί οι υδρατμοί συμπυκνώνονται για να σχηματιστούν τα νέφη, και όταν οι σταγόνες νερού αποκτήσουν κατάλληλο μέγεθος, πέφτουν στο έδαφος με τη μορφή βροχής, χαλαζιού ή χιονιού. Οι σταγόνες βροχής που πέφτουν απορροφώνται από το έδαφος (διήθηση) και μέσω υπόγειων υδάτων περνάνε στα φυτά και μετέπειτα στην ατμόσφαιρα μέσω της διαπνοής, είτε απορρέουν επιφανειακά, καταλήγοντας σε ποταμιά και λίμνες και τελικά στην θάλασσα. Το υγρό νερό, κυρίως αυτό που έχει προέλθει από το λιώσιμο του χιονιού ή πάγου, μπορεί να ρέει επίσης στο έδαφος και να συγκεντρώνεται σε μια λεκάνη απορροής, με μέρος αυτού του νερού να καταλήγει πάλι στις λίμνες, τους ποταμούς και τις θάλασσες ή να εξατμίζεται επιστρέφοντας ξανά στην ατμόσφαιρα.^{59,60,61} Επίσης στη φύση, το χιόνι και ο συμπαγής πάγος γίνεται να μεταβεί απευθείας από την στερεή στην αέρια φάση χωρίς να χρειάζεται να λιώσει πρώτα σε νερό, μέσω μιας διεργασίας γνωστή ως εξάχνωση. Η εξάχνωση δύναται να συμβεί πολύ πιο εύκολα όταν επικρατούν καιρικές συνθήκες χαμηλής υγρασίας και ξηρών ανέμων, αλλά και χαμηλότερες ατμοσφαιρικές πιέσεις, σε υψηλότερα επομένως υψόμετρα. Προκειμένου ωστόσο να εξαχνωθεί ο πάγος σε ατμό απαιτείται ενέργεια με τη μορφή συνήθως θερμότητας, το μεγαλύτερο μέρος της οποίας χρειάζεται κατά το στάδιο της εξάτμισης.⁸⁹

Γενικά, ο κύκλος του νερού αποτελεί τον σημαντικότερο βιο-γεωχημικό κύκλο, εφόσον το νερό είναι υψίστης σημασίας ουσία για τη διατήρηση της ζωής. Κατανοώντας τον κύκλο του νερού σε παγκόσμιο αλλά και τοπικό επίπεδο θα καταφέρουμε να αυξήσουμε την ικανότητα μας να προβλέψουμε το κλίμα και τις καιρικές συνθήκες, αλλά και να

διαχειριστούμε σωστά τους υδάτινους πόρους για τη βελτίωση της υγείας των οικοσυστημάτων.



Εικόνα 4. Κύκλος του νερού

(https://www.noaa.gov/media/image_download/72476931-c7f9-4606-a1d8-61f4703d806e)

Κεφάλαιο 2: Χιόνι

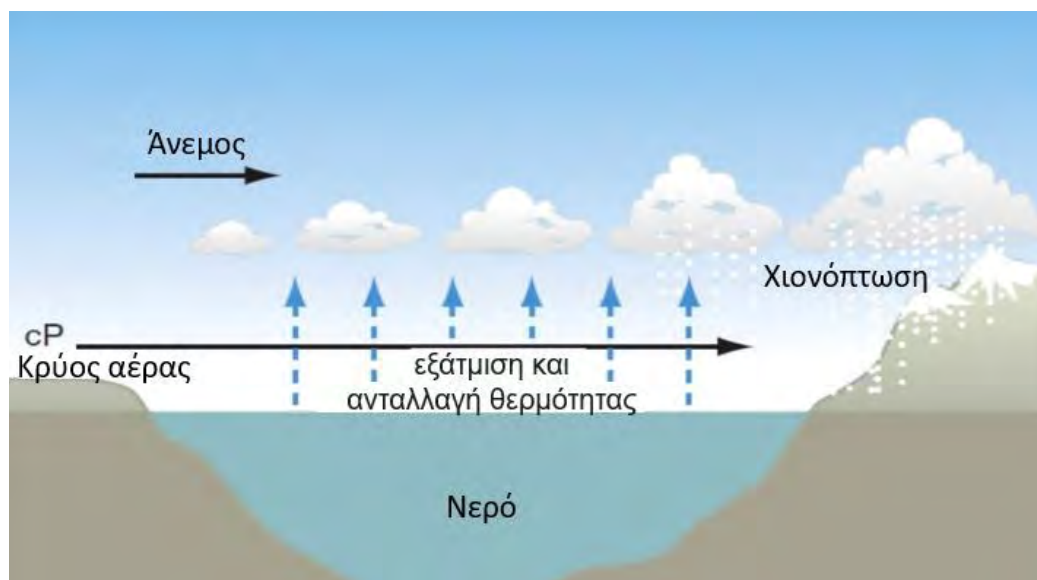
Ορισμός

Με τον όρο χιόνι εννοούμε την στερεά κατακρήμνιση σωματιδίων νερού που εντοπίζονται με τη μορφή μικρών κρυστάλλων πάγου σε θερμοκρασίες μικρότερες των 0°C , αλλά και ως μεγαλύτερες χιονονιφάδες σε θερμοκρασίες κοντά στους 0°C . Πρόκειται για στερεή μορφή του νερού που πέφτοντας στην Γη καλύπτει 23% περίπου της επιφάνειας της.^{25,26} Οι κρύσταλλοι αυτοί που το αποτελούν διατάσσονται μεταξύ τους σε ίσες αποστάσεις



Εικόνα 5. Νιφάδα χιονιού

(μορφή κρυσταλλικού πλέγματος), ανακλώντας και διαθλώντας τις ακτίνες του ήλιου που προσπίπτουν πάνω τους. Το ανθρώπινο μάτι αντιλαμβάνεται την διάχυτη αυτή ανάκλαση των ακτίνων ως λευκό χρώμα, παρότι στην πραγματικότητα αποτελείται από όλα τα χρώματα του φάσματος φωτός.²⁷



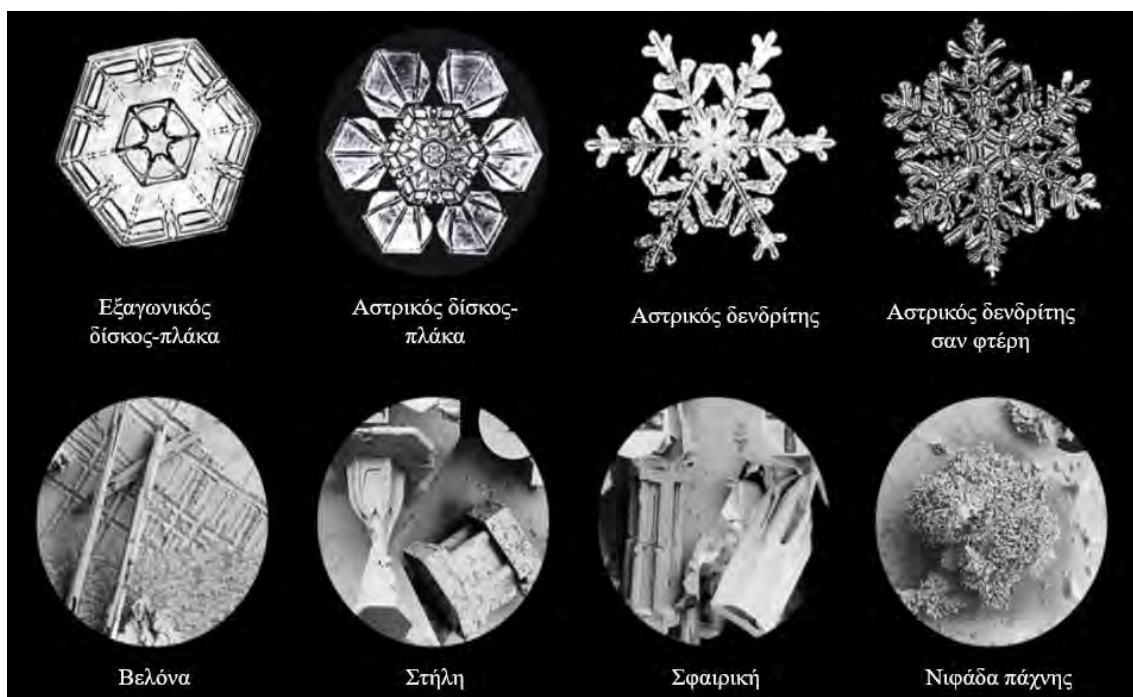
Εικόνα 6. Διαδικασία σχηματισμού χιονιού

(<https://deerparklodge.typepad.com/.a/6a00d8345568db69e20163003c9841970d-800wi>)

Μορφές χιονιού

Καθώς το χιόνι πέφτει, με μια ταχύτητα μερικών εκατοστών ανά δευτερόλεπτο, οι νιφάδες χιονιού μπορούν να πάρουν διάφορα σχήματα ανάλογα με τη θερμοκρασία του αέρα που επικρατεί ή και την υγρασία.²⁹ Μάλιστα υπάρχουν τουλάχιστον 30 διαφορετικά σχήματα νιφάδων χιονιού, όπως οι εξαγωνικές πλάκες (hexagonal plates), οι ακτινωτές πλάκες (stellar plates), οι δεντρίτες (dendrites), οι στήλες (columns), οι σφαιρικές (bullets) ή βελονοειδείς νιφάδες (needles), μερικές εκ των οποίων φαίνονται στην εικόνα.³⁰ Με τον τρόπο αυτό προκύπτουν διαφορετικοί τύποι χιονιού και έτσι έχουμε τις εξής περιπτώσεις:

- Ο Υγρό χιόνι (wet snow): Παρατηρείται κυρίως στις πεδιάδες, όταν η θερμοκρασία είναι λίγο πάνω το 0°C. Λόγω των σχετικά υψηλότερων θερμοκρασιών εμφανίζονται υψηλότερα επίπεδα υγρασίας με αποτέλεσμα οι νιφάδες χιονιού να λιώνουν και να έχουμε λίγο υγρό νερό, χιόνι το οποίο μπορεί να προσκολληθεί σε οτιδήποτε έρθει σε επαφή καθώς πέφτει.
- Ο Ξηρό χιόνι (dry snow): Συναντάται όταν οι θερμοκρασίες είναι πολύ χαμηλότερες από 0°C και τα επίπεδα υγρασίας χαμηλά, συνήθως στα βουνά. Πρόκειται για πολύ ελαφρύ χιόνι καθώς δεν περιέχει καθόλου υγρό νερό και άρα οι νιφάδες δεν κολλάνε μεταξύ τους.
- Ο Χιόνι μερικώς τετηγμένο ή χιονόνερο (slush): αυτό το είδος χιονιού περιέχει αρκετό νερό, παρατηρείται σε θερμοκρασίες 1-3°C, είναι πολύ βαρύ και μπορεί να μετατραπεί γρήγορα σε πάγο.
- Ο Παγωμένη βροχή (freezing rain): εάν οι νιφάδες χιονιού καθώς πέφτουν συναντήσουν μάζα αέρα με θετική θερμοκρασία και στην συνέχεια στην πορεία τους μάζα αέρα με αρνητική θερμοκρασία τότε έχουμε τον σχηματισμό της παγωμένης βροχής.^{28,31}



Εικόνα 7. Τύποι νιφάδων χιονιού

(<https://sciencenotes.org/snowflake-shapes/>)

Ιδιότητες χιονιού

Φυσικές ιδιότητες

Το χιόνι και γενικά το νερό παρουσιάζει μοναδικές φυσικές ιδιότητες. Η πυκνότητα του χιονιού κυμαίνεται από 20 kg/m^3 όταν πρόκειται για φρέσκο χιόνι έως 180 kg/m^3 , με τη πυκνότητα να αυξάνεται όσο το χιόνι συμπιέζεται. Η πυκνότητα επομένως του χιονιού είναι σχετικά χαμηλή, σε αντίθεση με το νερό που παρουσιάζει υψηλή πυκνότητα (με μέγιστη πυκνότητα στους 3.98°C). Λόγω της διαφοράς αυτής των πυκνοτήτων άλλωστε το χιόνι-πάγος καταφέρνει να επιπλέει στο νερό, γεγονός που βοηθά στην διατήρηση της ζωής κάτω πάγο⁹⁰. Η λανθάνουσα θερμότητα τήξης του χιονιού, η ποσότητα δηλαδή της θερμότητας που απαιτείται για να λιώσει το χιόνι και να μετατραπεί από στερεό σε υγρό χωρίς να χάσει τη θερμοκρασία του, είναι αρκετά υψηλή με την τιμή της να υπολογίζεται στα 0.333 MJ/kg . Αντίστοιχα για τη μετατροπή του χιονιού από στερεό απευθείας σε ατμό (εξάχνωση) απαιτείται θερμότητα, με τη θερμότητα εξάχνωσης να λαμβάνει επίσης υψηλή τιμή, περίπου 2.83 MJ/kg . Παρατηρούμε ότι η λανθάνουσα θερμότητα εξάχνωσης του χιονιού είναι πολύ μεγαλύτερη σε σύγκριση με τη λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης του νερού (40.65 KJ/mol ή 2.26 MJ/kg), καθώς η θερμότητα εξάχνωσης του χιονιού είναι συνδυασμός της λανθάνουσας θερμότητας τήξης του χιονιού και της λανθάνουσας θερμότητας εξάτμισης του νερού. Επιπλέον, το χιόνι παρουσιάζει σχετικά χαμηλή θερμική αγωγιμότητα. Τέλος, η ειδική θερμοχωρητικότητα του χιονιού, η θερμική ενέργεια που χρειάζεται για να μπορέσει να αυξηθεί η θερμοκρασία ενός κιλού χιονιού κατά 1 βαθμό Kelvin, είναι μικρότερη αυτής του νερού και η τιμή της ποικίλει ανάλογα με τη θερμοκρασία και τη πυκνότητα του χιονιού.^{1,32}

Οπτικές Ιδιότητες

Με τον όρο οπτικές ιδιότητες αναφερόμαστε συνήθως στην απορρόφηση, τη διαπερατότητα, την ανάκλαση και την εκπομπή. Ειδικότερα, το χιόνι ανακλά με διηλεκτρική σταθερά που καθορίζεται από την πυκνότητα του. Η ανακλαστικότητα, η ικανότητα δηλαδή της επιφάνειας του χιονιού να εκτρέπει την προσπίπτουσα ακτινοβολία, μπορεί να φτάσει σε ποσοστό έως 90% , γεγονός που σημαίνει ότι το μεγαλύτερο μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει πάνω στο χιόνι δεν απορροφάται από το χιόνι αλλά ανακλάται πίσω στην ατμόσφαιρα ως θερμική ακτινοβολία.³² Ειδικότερα εμφανίζει μεγάλο βαθμό ανάκλασης στα μήκη κύματος της ορατής ακτινοβολίας ($0,4\text{-}0,75 \mu\text{m}$), ενώ αντίθετα για την υπέρυθη ακτινοβολία ο βαθμός ανάκλασης είναι μικρός. Επιπλέον, το χιόνι παρουσιάζει πολύ χαμηλή απορρόφηση στο ορατό φάσμα φωτός, ενώ απορροφά στο υπέρυθρο, σε αντίθεση με το νερό που απορροφά περισσότερο φως, γεγονός που του δίνει και το μπλε χρώμα σε μεγάλα βάθη. Στην υψηλή αυτή ικανότητα ανάκλασης και την χαμηλή ικανότητα απορρόφησης οφείλεται η λάμψη, το λαμπερό λευκό χρώμα του χιονιού. Το χιόνι παρουσιάζει υψηλή διαπερατότητα (σε αντίθεση με το νερό που παρουσιάζει χαμηλή), αφήνοντας στο φως να διεισδύσει σε βάθος στη χιονισμένη επιφάνεια, αναλόγως πάντα με το πάχος και την πυκνότητα του χιονιού και επιτρέποντας έτσι στην φωτεινή ακτινοβολία να διαχυθεί πριν ανακλαστεί ή σε ορισμένες περιπτώσεις απορροφηθεί. Εκτός αυτού, χάρη στην πολύπλοκη δομή των κρυστάλλων πάγου, το χιόνι παρουσιάζει εξαιρετικές ιδιότητες σκέδασης. Εξαιτίας αυτού ο ουρανός στις χιονισμένες περιοχές φαίνεται πιο φωτεινός. Τέλος, εξαιτίας της χαμηλής θερμοκρασίας του χιονιού το χιόνι έχει υψηλό συντελεστή

εκπομπής στο υπέρυθρο φάσμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας (περίπου 0.98, ενώ το νερό έχει επίσης υψηλό συντελεστή περίπου 0.96), συμβάλλοντας έτσι στην απώλεια θερμότητας από την επιφάνεια του και ρυθμίζοντας έτσι την θερμοκρασία του εδάφους και της ατμόσφαιρας.^{2,33}

Ηλεκτρικές Ιδιότητες

Οι ηλεκτρικές ιδιότητες του νερού επηρεάζονται από ορισμένες παραμέτρους. Σε αυτές ανήκουν η θερμοκρασία, η πυκνότητα, η αγωγιμότητα, η διηλεκτρική σταθερά, η περιεκτικότητα σε νερό και η αγωγιμότητα του νερού στο χιόνι που έχει λιώσει. Όλες αυτές οι παράμετροι και οι διακυμάνσεις αυτών επηρεάζουν τον τρόπο με τον οποίο το χιόνι αλληλεπιδρά με ένα ηλεκτρικό πεδίο και επομένως την ικανότητα του χιονιού να μεταφέρει ρεύμα. Μεταξύ των παραμέτρων αυτών η χαμηλή θερμική αγωγιμότητα του όγκου είναι αυτή που προσφέρει στο χιόνι τα εξαιρετικά μονωτικά του χαρακτηριστικά. Οι μονωτικές ωστόσο ιδιότητες μπορούν να μεταβληθούν όταν υφίστανται διεργασίες όπως η τήξη ή η συμπίεση. Το συμπιεσμένο χιόνι για παράδειγμα εμφανίζει μεγαλύτερη πυκνότητα και κατά συνέπεια διαφοροποιημένες μονωτικές ιδιότητες.³

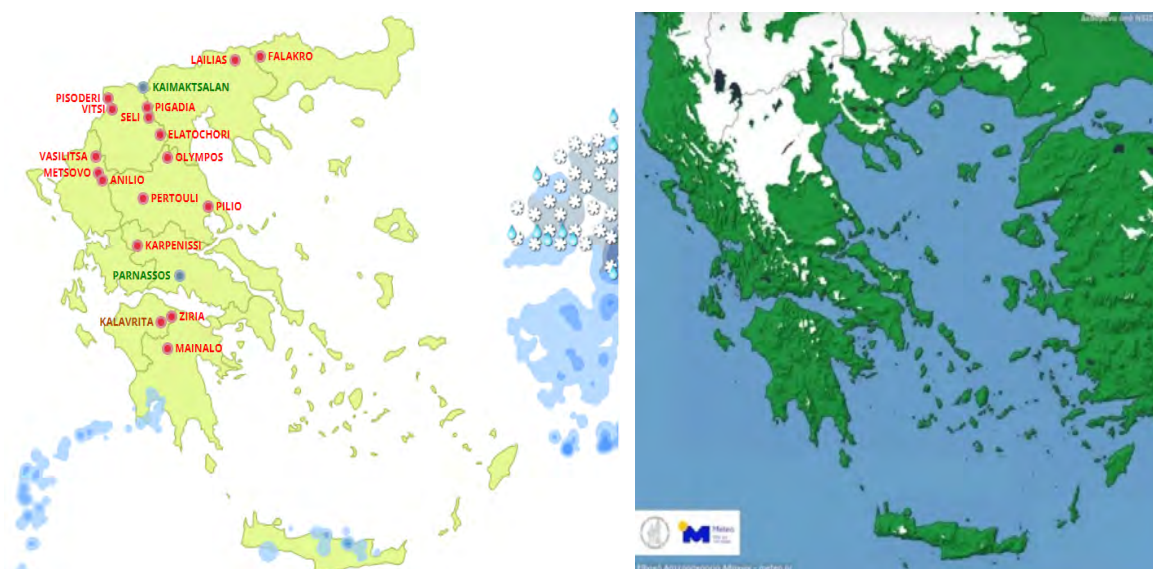
Χιόνι στην Ελλάδα

Η Ελλάδα αποτελεί χώρα της νοτιοανατολικής Ευρώπης και μάλιστα εντοπίζεται στο νοτιοανατολικό άκρο της, στο νοτιότερο άκρο της Βαλκανικής χερσονήσου. Βρέχεται από την Μεσόγειο θάλασσα και συγκεκριμένα από το Ιόνιο, το Αιγαίο και το Λιβυκό πέλαγος. Το κλίμα της είναι εύκρατο μεσογειακό, όπου τουλάχιστον 250 μέρες τον χρόνο επικρατεί ηλιοφάνεια. Χαρακτηρίζεται για τους ήπιους χειμώνες και τα καλοκαίρια με υψηλές θερμοκρασίες. Ωστόσο κατά τους χειμερινούς μήνες, από τον Νοέμβριο μέχρι τον Απρίλιο, οι βόρειες κυρίως περιοχές και τα βουνά πάνω από ένα υψόμετρο καλύπτονται με χιόνι. Η συχνότητα της χιονόπτωσης αλλά και η ποσότητα του χιονιού που καλύπτει μια περιοχή εξαρτάται από την γεωγραφική της θέση. Έτσι υπάρχουν βουνά, κυρίως της ηπειρωτικής χώρας, όπου κάθε χρόνο συνηθίζεται να έχουν χιόνι. Μεταξύ αυτών είναι:

- ο **Όλυμπος**, το υψηλότερο βουνό της Ελλάδας με υψόμετρο 2918 m.
- ο **Καϊμακτσαλάν**, βουνό στα σύνορα της Ελλάδας με την υψηλότερη κορυφή να βρίσκεται στα 2524 m.
- ο **Παρνασσός**, βουνό στην Στερεά Ελλάδα με την υψηλότερη κορυφή στα 2457 m.
- ο **Κυλλήνη ή Ζήρεια**, βουνό της Πελοποννήσου με υψόμετρο 2380 m.
- ο **Αροάνια όρη ή Χελμός**, οροσειρά της Πελοποννήσου με υψόμετρο 2355 m.
- ο **Βασιλίτσα**, βουνό της Μακεδονίας και της Ηπείρου με υψόμετρο 2249 m.
- ο **Μαίναλο**, βουνό της Πελοποννήσου με υψόμετρο 1981 m.
- ο **Βελούχι**, ορεινός προορισμός στον νομό Ευρυτανίας, με υψόμετρο 1840-1870 m.
- ο **Μέτσοβο και Ανήλιο**, χωριά στην Ήπειρο με υψόμετρο 1160 m και 1050 m αντίστοιχα.
- ο **Περτούλι**, ορεινό χωριό στην Θεσσαλία με υψόμετρο 1150 m.^{34,35,36}
- ο **Ψηλορείτης**, γνωστός και ως **Ίδη**, είναι ορεινός όγκος στην κεντρική Κρήτη με ύψος 2456 μέτρα.

ο Λευκά Όρη ή Μαδάρες (Μαδάρα) στη δυτική Κρήτη, με την κορυφή τους Πάχνες στα 2453 m.

Παρακάτω, στον χάρτη της εικόνας 7, φαίνονται οι περιοχές όπου παρατηρείται συχνότερα χιονόπτωση και η γεωγραφική τους θέση, ενώ μπορούμε επίσης να παρατηρήσουμε το ποσοστό της χιονοκάλυψης στην Ελλάδα, περίπου 21%, κατά τον μήνα Ιανουάριο του 2024.³⁷



Εικόνα 8. Χάρτης με τα χιονοδρομικά κέντρα της Ελλάδας (αριστερά, τα μπλε στίγματα είναι χιονόνερο) και χάρτης των περιοχών με περισσότερο χιόνι στην Ελλάδα (δεξιά)

(<https://greekcitytimes.com/2024/01/25/weather-greece-covered-snow-meteo/>)

Κεφάλαιο 3: Χιονοδρομικά κέντρα

Εισαγωγή

Τα χιονοδρομικά κέντρα αποτελούν δημοφιλείς προορισμούς για τους λάτρεις των χειμερινών αθλημάτων, προσφέροντας πλήθος πιστών και χιονισμένων εδαφών για την άθληση και τη διεξαγωγή χιονοδρομιών, χιονοσανίδας, έλκηθρου και πλήθος άλλων δραστηριοτήτων που σχετίζονται με το χιόνι. Τα τουριστικά αυτά θέρετρα βρίσκονται συνήθως σε ορεινές περιοχές, σε πλαγιές βουνών όπου επικρατούν συχνά χιονοπτώσεις και χαμηλές θερμοκρασίες, ιδανικές για τη διατήρηση του χιονιού. Τα περισσότερα προσφέρουν πλήθος παροχών και υπηρεσιών, συμπεριλαμβανομένων της εκμάθησης χιονοδρομίας και χιονοσανίδας, ενοικιάσεων εξοπλισμού, ξεναγήσεων και αξιοποίησης των καλωδιοκίνητων σιδηρόδρομων (ski lifts). Εκτός από τη δυνατότητα άθλησης και των εξωτερικών δραστηριοτήτων, τα χιονοδρομικά κέντρα διαθέτουν συχνά καταλύματα και εστιατόρια, προσφέροντας στον επισκέπτη τη δυνατότητα διαμονής, φαγητού και ψυχαγωγίας, καθιστώντας τα έτσι ελκυστικό προορισμό διακοπών και εκδρομών. Τα χιονοδρομικά κέντρα εντοπίζονται και στο βόρειο και στο νότιο ημισφαίριο, σε όλες τις ηπείρους εκτός της Ανταρκτικής, σε περιοχές με αρκετή ποσότητα χιονιού, αν και η τεχνητή χιόνωση και η εγκατάσταση εξοπλισμού και μηχανημάτων τεχνητής χιόνωσης τα τελευταία χρόνια επέτρεψε την edραίωση χιονοδρομικών κέντρων και σε περιοχές με υψηλότερες θερμοκρασίες και λιγότερο ευνοϊκό για τη διατήρηση του χιονιού κλίμα. Το βορειότερο χιονοδρομικό κέντρο βρίσκεται στην Νορβηγία κοντά στο Tromso, ενώ το νοτιότερο κοντά στην Ushuaia, στην Αργεντινή. Επιπλέον γνωστά χιονοδρομικά βρίσκονται κοντά στον ισημερινό, κοντά στο Lijiang της Κίνας και στο πέρασμα Mahlasela στη χώρα Lesotho, χιονοδρομικά κέντρα στο βόρειο και νότιο ημισφαίριο αντίστοιχα.



Εικόνα 9. Χιονοδρομικό κέντρο Tromso, στη Νορβηγία

(<https://b4experience.com/wp-content/uploads/2023/02/ski-noruega-velero-1030x687.jpg>)



Εικόνα 10. Χιονοδρομικό κέντρο στην Ushuaia, στην Αργεντινή

(https://live.staticflickr.com/753/33051601730_9d5ef05a5b_b.jpg)

Χιονοδρομικά κέντρα στην Ελλάδα

Το κλίμα της Ελλάδας όπως αναφέραμε είναι εύκρατο Μεσογειακό, με ήπιους χειμώνες και θερμά καλοκαίρια. Επικρατούν δηλαδή υψηλές θερμοκρασίες στο μεγαλύτερο μέρος της χώρας. Ωστόσο η Ελλάδα διακρίνεται για την σημαντική κλιματική διακύμανση, καθώς σε μεγάλο βαθμό είναι ορεινή σε ποσοστό 80% της χώρας. Το πλήθος λοιπόν βουνών και οροσειρών, οι χαμηλές θερμοκρασίες και η συχνή χιονόπτωση που επικρατούν στις περιοχές αυτές, σε συνδυασμό με την ανάγκη του ανθρώπου για επαφή με το χιονισμένο τοπίο, την ομορφιά και την αρμονία της φύσης οδήγησαν στην εκμετάλλευση του υπάρχοντος χιονιού και την αξιοποίηση των πλαγιών για την διεξαγωγή χειμερινών δραστηριοτήτων, την άθληση αλλά και την διασκέδαση μεγάλου μέρους του τοπικού πληθυσμού και επισκεπτών από άλλες περιοχές. Όλο αυτό το σύνολο των δραστηριοτήτων που διεξάγονται κατά τη χειμερινή περίοδο το διάστημα από 15 Νοεμβρίου έως 15 Μαρτίου (σύμφωνα με τον Ελληνικό Οργανισμό Τουρισμού Ε.Ο.Τ.) αποτελεί τον «χειμερινό τουρισμό». Τα χειμερινά σπορ και οι χιονοδρομίες αποτελούν τη σημαντικότερη έκφραση του χειμερινού τουρισμού στη χώρα μας και πρωτοεμφανίστηκε μεταξύ 1928 και 1930 μεταφερόμενη από φοιτητές του εξωτερικού. Στην Ελλάδα, σήμερα, υπάρχουν συνολικά 24 χιονοδρομικά κέντρα, 7 εκ των οποίων δεν βρίσκονται πλέον σε λειτουργία ή λειτουργούν μόνο υπό συγκεκριμένες προϋποθέσεις. Ανάλογα με τον εξοπλισμό και τις εγκαταστάσεις τους διακρίνονται σε τοπικά, περιφερειακά και εθνικά.^{50,91}

Το μεγαλύτερο και δημοφιλέστερο χιονοδρομικό κέντρο της Ελλάδας είναι ο **Παρνασσός**, το οποίο διαθέτει 23 πίστες, από τις οποίες 4 είναι αρχαρίων, 7 χιονοδρομικές διαδρομές και 7 συνδετικά μονοπάτια συνολικού μήκους 34 χιλιομέτρων. Βρίσκεται στο

όρος Παρνασσός, στην Στερεά Ελλάδα που εκτείνεται στους νομούς Βοιωτίας, Φθιώτιδας και Φωκίδας. Η ψηλότερη κορυφή βρίσκεται στα 2457 m, με τις καταβάσεις να ξεκινούν όμως από τα 2260m και να φτάνουν μέχρι τα 1640 m. Οι επιμέρους πίστες κυμαίνονται σε βαθμό δυσκολίας, έχοντας πολύ εύκολες, εύκολες και δύσκολες διαδρομές, μήκους 300 μέτρων έως και 4 χιλιομέτρων. Τέσσερις από τις πίστες του χιονοδρομικού, γνωστές με τα ονόματα Βάκχος (No. 2), Ηνίοχος (No. 6), Ηρακλής (No. 8) και Οδυσσέας (No. 9) αποτελούν πίστες κατάλληλες για τη διοργάνωση διεθνών αγώνων χιονοδρομίας, καθώς έχουν πιστοποιηθεί από την Διεθνή Ομοσπονδία Χιονοδρομίας (FIS Homologation).⁵¹



Εικόνα 11. Χιονοδρομικό κέντρο Παρνασσού

(<https://parnassos-ski.gr/wp-content/uploads/2022/01/parnass3.jpg>)

Το δημοφιλέστερο χιονοδρομικό κέντρο στην Βόρεια Ελλάδα είναι το **Καϊμακτσαλάν** ή χιονοδρομικό κέντρο Βόρας, το οποίο εντοπίζεται στο όρος Καϊμακτσαλάν, το τρίτο υψηλότερο βουνό της Ελλάδας μετά τον Όλυμπο και τον Κίσσαβο που εκτείνεται μεταξύ δύο χωρών και η υψηλότερη κορυφή του έχει υψόμετρο 2524 m. Το χιονοδρομικό βρίσκεται στα σύνορα του νομού Πέλλας με τη Βόρεια Μακεδονία-Σκόπια και ξεκίνησε τη λειτουργία του το 1995. Διαθέτει 10 πίστες, 3 εκ των οποίων είναι εγκεκριμένες από την Διεθνή Ομοσπονδία Χιονοδρομίας (FIS) Ορισμένες από τις πίστες είναι αρκετά φαρδιές και εύκολες στην κατάβαση, ενώ μπορεί να θεωρηθεί και ως ένα από τα καλύτερα χιονοδρομικά στην Ελλάδα για τη βελτίωση της τεχνικής των σκιέρ σε διαδρομές με απάτητο χιόνι.^{50,64}



Εικόνα 12. Χιονοδρομικό κέντρο Καϊμακτσαλάν

(https://www.kaimaktsalan-voras.com/slider/283/slider_image.jpg)

Το χιονοδρομικό κέντρο **Πηλίου** βρίσκεται κοντά στον Βόλο, 2 χιλιόμετρα από το χωριό Χάνια. Διαθέτει 7 πίστες με συνολικό μήκος 15 χιλιόμετρα, με τέσσερις από αυτές να είναι εγκεκριμένες από τη Διεθνή Ομοσπονδία Χιονοδρομίας (FIS). Βρίσκεται σε χαμηλό για χιονοδρομικό κέντρο υψόμετρο, στα 1471 m.⁶⁶



Εικόνα 13. Χιονοδρομικό κέντρο Πηλίου

(https://tbnewsmedia.blob.core.windows.net/media/thessaliaeconomy/Default/_Profiles/fd49780c/1c8dc851/xionodromiko%20piliou.jpg?v=638458224760000000)

Το νεότερο χιονοδρομικό κέντρο της χώρας μας είναι το Ανήλιο, στην οροσειρά της Πίνδου, στον Δήμο Μετσόβου. Βρίσκεται σε υψόμετρο 1650-1850 m. Συνολικά διαθέτει 12 πίστες όλων των επιπέδων δυσκολίας, τρεις εγκεκριμένες από την Διεθνή Ομοσπονδία Χιονοδρομίας (FIS), διαθέσιο αναβατήρα μήκους 800 μέτρων, δύο συρόμενα 280 και 300 μέτρων, δύο μηχανήματα χιονο-στρώσης και δύο babylifts. Στη περιοχή εντοπίζεται επίσης μια παγωμένη τεχνητή λίμνη σε σχήμα καρδιάς που κατασκευάστηκε για τις ανάγκες του χιονοδρομικού κέντρου, η οποία σε συνδυασμό με το χιονισμένο τοπίο και το απάτητο χιόνι στις πλαγιές των βουνών προσφέρει μια μοναδική εμπειρία στον επισκέπτη και τον σκιέρ.⁶⁵



Εικόνα 14. Χιονοδρομικό κέντρο Ανηλίου με τη τεχνητή λίμνη (δεξιά)

(https://anilio-metsovou.weebly.com/uploads/1/0/6/7/10671949/5411469_orig.jpg)

Άλλα γνωστά χιονοδρομικά κέντρα είναι το χιονοδρομικό κέντρο Βελουχίου, στο Καρπενήσι, το οποίο αποτελεί ένα από τα παλαιότερα χιονοδρομικά κέντρα της χώρας μας με συνολικά 12 πίστες, το χιονοδρομικό κέντρο Σελίου σε υψόμετρο 1530-1890 m, το χιονοδρομικό κέντρο 3-5 Πηγάδια στη δυτική πλευρά του όρους Βέρμιου, το χιονοδρομικό κέντρο Λαϊλιά κοντά στις Σέρρες, καθώς και το χιονοδρομικό κέντρο Φαλακρού γνωστό ως το μεγαλύτερο χιονοδρομικό κέντρο της Μακεδονίας που ιδρύθηκε το 1980 με συνολικά 21 πίστες και 9 αναβατήρες. Στα χιονοδρομικά κέντρα της Ελλάδας συγκαταλέγονται επίσης το χιονοδρομικό κέντρο Καλαβρύτων, σε υψόμετρο 1700-2340 m στον νομό Αχαΐας, το χιονοδρομικό κέντρο Ελατοχωρίου στα 1974 m με συνολικά 10 πίστες που απευθύνονται κυρίως σε πιο έμπειρους σκιέρ, το χιονοδρομικό κέντρο Βιτσιού, το χιονοδρομικό κέντρο Βασιλίτσας στο βορειοδυτικό τμήμα του νομού Γρεβενών, το χιονοδρομικό κέντρο Περτουλίου, σε υψόμετρο 1170-1340 m, το χιονοδρομικό κέντρο Πισοδερίου, το χιονοδρομικό κέντρο Μαινάλου και τέλος το χιονοδρομικό κέντρο Ζήρειας που ξεκίνησε τη λειτουργία του το 2007.⁵⁰

Στον πίνακα που ακολουθεί συνοψίζονται ο συνολικός αριθμός των πιστών κάθε χιονοδρομικού κέντρου, ο αριθμός των πιστών εγκεκριμένων από τη Διεθνή Ομοσπονδία Χιονοδρομίας (FIS.), καθώς και το επίπεδο δυσκολίας των πιστών. Οι πίστες ανάλογα με το επίπεδο δυσκολίας διακρίνονται συνήθως χρωματικά και συνεπώς έχουμε τις εξής κατηγορίες:

- ο **Πράσινες:** Εύκολες πίστες, κατάλληλες για αρχάριους.
- ο **Μπλε:** Μέτριας δυσκολίας πίστες.
- ο **Κόκκινες:** Δύσκολες πίστες για πιο έμπειρους χιονοδρόμους.
- ο **Μαύρες:** Πολύ δύσκολες πίστες που προορίζονται για προχωρημένους και έμπειρους χιονοδρόμους.

- ο **Πίστες αντοχής (Lang-Lauf)**: Πίστες σχεδιασμένες για χιονοδρομίες αντοχής (cross-country skiing) και όχι για αλπική χιονοδρομία (downhill skiing). Μεγαλύτερες σε μήκος πίστες σε επίπεδες ή ήπια κεκλιμένες επιφάνειες.
- ο **Πίστες αρχαρίων (Baby lifts)**.

Οι πίστες που είναι πιστοποιημένες από την Διεθνή Ομοσπονδία Χιονοδρομίας είναι συνήθως κόκκινες ή μαύρες, λόγω των αυξημένων απαιτήσεων για την διεξαγωγή διεθνών αγώνων.^{51,75-88}

Πίνακας 1. Σύνοψη χιονοδρομικών κέντρων της Ελλάδας όπου φαίνεται ο αριθμός των πιστών, των εγκεκριμένων από την FIS πιστών, καθώς και ο βαθμός δυσκολίας τους.

Χιονοδρομικό κέντρο	Συνολικός αριθμός πιστών	Αριθμός εγκεκριμένων πιστών από την Διεθνή Ομοσπονδία Χιονοδρομίας (FIS)	Αριθμός πιστών ανάλογα με το επίπεδο δυσκολίας
Παρνασσός	23	4	2, 7, 8, 4, (2 Baby lifts)
Καϊμακτσαλάν	10	3	2, 4, 3, 1
Πηλίου-Αγριόλευκες	7	4	1, 2, 3, (1 Lang-Lauf)
Ανηλίου	12	3	2, 3, 3, 1, (3 Baby lifts)
Βελουχίου	12	1	3, 5, 3, 1
Σέλι	18	1	4, 6, 7, 1
3-5 Πηγάδια	14	2	3, 4, 5, 2
Λαϊλιά	3	1	1, 1, (1 Lang-Lauf)
Φαλακρό	21	2	4, 8, 5, 4
Ελατοχωρίου	10	0	2, 4, 3, 1
Βιτσίου	5	0	2, 1, 1, (1 Lang-Lauf)
Βασιλίτσας	18	1	7, 5, 3, 3
Περτούλι	3	0	1, 1, 1
Πισοδερίου	10	1	3, 3, 2, 2
Μαινάλου	7	0	1, 2, 3, 1
Ζήρεια	2	0	1, 1

Άλλα χαρακτηριστικά χιονοδρομικών κέντρων

Το χιόνι καλύπτει πολλές περιοχές του πλανήτη, επιφάνειες της ξηράς, της θάλασσας, λιμνών και ποταμών για περίπου 8-10 μήνες τον χρόνο. Η χιονοκάλυψη καθορίζει το κλίμα, την υδρολογία, αλλά και τα οικοσυστήματα, καθώς επηρεάζει τη βλάστηση, το ενεργειακό επιφανειακό ισοζύγιο και το ισοζύγιο νερού. Οι μονωτικές για παράδειγμα ιδιότητες του χιονιού επιτρέπουν τη διατήρηση της ζωής κάτω από αυτό, πολλά φυτά επιβιώνουν καθώς η θερμοκρασία της επιφάνειας του εδάφους κάτω από πάχος χιονιού 50 cm είναι περίπου 0°C σε σύγκριση με τη θερμοκρασία του αέρα πάνω από το χιόνι που υπολογίζεται περίπου -20°C. Επίσης, η χιονοκάλυψη έχει άμεση επίδραση στον υδρολογικό κύκλο και την ανακατανομή του νερού μεταξύ των χειμώνων και των θερμότερων εποχών.^{18,19}

Είναι φανερό λοιπόν η σπουδαιότητα του ρόλου και τα φυσικά οφέλη του χιονιού στο περιβάλλον και τα οικοσυστήματα. Η επαφή ωστόσο με το χιόνι και τον πάγο επέτρεψε στον άνθρωπο και του παρείχε τη δυνατότητα για έναν πιο αναζωογονητικό τρόπο ενίσχυσης της φυσικής του κατάστασης αλλά και της ψυχικής του υγείας. Τα χιονοδρομικά κέντρα προσφέρουν έναν μοναδικό συνδυασμό αναψυχής, επαφής με τη κοινότητα και τη φύση, μετατρέποντας τον χειμώνα σε πηγή χαράς και δραστηριότητας.

Βελτίωση της φυσικής κατάστασης και της ψυχικής υγείας

Τα χειμερινά αθλήματα αποτελούν αγωνιστικές ή ψυχαγωγικές δραστηριότητες που διεξάγονται κατά τη διάρκεια των χειμερινών συνήθως μηνών. Παλιότερα τέτοια αθλήματα μπορούσαν να πραγματοποιηθούν μόνο σε περιοχές με χιόνι ή πάγο όπου επικρατούσαν χαμηλές θερμοκρασίες, με τις τεχνολογίες του τεχνητού χιονιού και πάγου σήμερα να επιτρέπουν μεγαλύτερη ευελιξία. Κατεξοχήν χειμερινά αθλήματα και δραστηριότητες που διεξάγονται στο χιόνι

αποτελούν η χιονοδρομία, η χιονοσανίδα, το snow kiting, το snow kayak, το ice climbing ή αναρρίχηση, το ice diving, το ski biking, το ice surfing και το snowcross.⁶⁷

Ο αθλητής ή επισκέπτης στα χιονοδρομικά κέντρα και πίστες έχει πλήθος επιλογών να επιλέξει. Οι δραστηριότητες αυτές

ανεβάζουν την αδρεναλίνη, ενώ ως υψηλού επιπέδου άθληση συμβάλουν

στη βελτίωση της σωματικής υγείας και την επίτευξη ενός υγιεινότερου τρόπου ζωής. Ειδικότερα η χιονοδρομία κατάβασης, το δημοφιλέστερο ενδεχομένως χειμερινό άθλημα



Εικόνα 15. Σωματική άσκηση και άθληση στο χιόνι

(https://cdn.prod.website-files.com/5ecc494476c6a82d2cac1f25/5ffe17aa0ee044123daa7dc3_Snowboarding.jpg)

στο χιόνι, όταν γίνεται μέρος της τακτικής σωματικής δραστηριότητας του ανθρώπου φαίνεται να συμβάλει στη βελτίωση της υγείας και στη μείωση της νοσηρότητας και θνησιμότητας από καρδιαγγειακούς παράγοντες κινδύνου και μεταβολικά νοσήματα, όπως δυσλιπιδαιμίες, υπέρταση ή διαβήτη. Η συχνή έκθεση στις περιβαλλοντικές συνθήκες που επικρατούν στις περιοχές διεξαγωγής των χειμερινών σπορ, όπως για παράδειγμα οι χαμηλές θερμοκρασίες, οι υψηλές πιέσεις και το μεγάλο υψόμετρο, αναγκάζουν τον οργανισμό να προσαρμοστεί στις συνθήκες αυτές, βελτιώνοντας με τον τρόπο αυτό την καρδιοαναπνευστική ικανότητα του ανθρώπου και την καρδιαγγειακή υγεία, μειώνοντας την πιθανότητα εκδήλωσης καρδιαγγειακών επεισοδίων.¹⁷ Επιπλέον, η χιονοδρομία αποτελεί δραστηριότητα που απαιτεί τον συντονισμό και την ταυτόχρονη λειτουργία πολλών μερών και μυών του σώματος, ιδιαίτερα αν ληφθεί υπόψη η ολισθηρή και κεκλιμένη επιφάνεια της πλαγιάς και οι διαταραχές λόγω του εξωτερικού περιβάλλοντος. Συνεπώς, ο αθλητής καταφέρνει να γυμνάσει πολλά μέρη του σώματος την ίδια στιγμή, ενώ επιτυγχάνοντας τον καλό συντονισμό των κινήσεων του βελτιώνει την ισορροπία και στάση του σώματος του, γεγονός που εξασφαλίζει έπειτα καλύτερη κινητικότητα, καλύτερη ποιότητα ζωής αλλά και προστασία από τραυματισμούς. Μάλιστα 12 εβδομάδες χιονοδρομίας φάνηκε ότι οδήγησαν σε σημαντική αύξηση της ισορροπίας και της αερόβιας αντοχής σε άτομα ηλικίας 60 έως 76 ετών.⁶⁸ Σημαντική κρίνεται επίσης η επίδραση της χιονοδρομίας κατάβασης στα οστά, όπου έχουμε αύξηση της αντοχής των οστών, καθώς και η έκκεντρη μυϊκή ενεργοποίηση όπου με έκκεντρη σύσπαση κυρίως του τετρακέφαλου παρουσιάζεται αποτελεσματικότερη ανάπτυξη της μυϊκής δύναμης και των τενόντων.¹⁷

Επιπλέον, για τα περισσότερα από τα χειμερινά αυτά αθλήματα απαιτείται αρκετή συγκέντρωση, η οποία σε συνδυασμό με την αίσθηση διαρκούς βελτίωσης και επιτυχίας οδηγεί στην τόνωση του ηθικού, την ψυχική ικανοποίηση και αύξηση της αυτοπεποίθησης. Η επαφή επίσης με το περιβάλλον, την φυσική ομορφιά των χιονισμένων βουνών και τον καθαρό αέρα αφήνει τον αθλητή ή επισκέπτη να απολαύσει το μαγευτικό τοπίο, συνδυάζοντας το με την αγαπημένη του δραστηριότητα και συμβάλλοντας με τον τρόπο αυτό στην βελτίωση της ψυχικής υγείας του ανθρώπου με ταυτόχρονη μείωση των επιπέδων του άγχους του.



*Εικόνα 16. Ψυχική ηρεμία και βελτίωση ψυχικής υγείας
(<https://www.skicanada.org/wp-content/uploads/2022/03/Health-Ski.jpg>)*

Βελτίωση της κοινωνικότητας

Η χιονοδρομία, η χιονοσανίδα και τα αθλήματα στο χιόνι αποτελούν κατεξοχήν κοινωνικά αθλήματα. Κανείς μπορεί να αθληθεί όχι μόνο με την οικογένεια και τους φίλους του, αλλά υπάρχει ολόκληρη κοινότητα που ασχολείται με τα αθλήματα αυτά και στην οποία μπορεί να γίνει μέλος. Ο άνθρωπος έρχεται συνεπώς σε επαφή με ανθρώπους όλων των ηλικιακών ομάδων, οι οποίοι μοιράζονται τον ίδιο ενθουσιασμό και αγάπη για τα χειμερινά σπορ, αναπτύσσοντας την αίσθηση του κοινωνικής ομάδας. Δεν είναι λίγες οι φορές άλλωστε που παρατηρούνται συζητήσεις μεταξύ αγνώστων και ατόμων ακόμη και διαφορετικών εθνικοτήτων ή καταγωγής, γεγονός που προωθεί τη συλλογικότητα, τη διαφορετικότητα και την ίση μεταχείριση όλων στους χώρους των χιονοδρομικών κέντρων.⁶⁷

Ενίσχυση τοπικής οικονομίας

Οι χιονοδρομίες εμφανίστηκαν για πρώτη φορά στην Ελλάδα τη δεκαετία του 1920 και έκτοτε το ενδιαφέρον για χειμερινές δραστηριότητες έχει ενταθεί, με ένα διαρκώς αυξανόμενο αριθμό αφοσιωμένων θαυμαστών. Η αυξανόμενη αυτή ζήτηση οδήγησε στην δημιουργία περισσότερων χιονοδρομικών κέντρων και την κατά συνέπεια αύξηση του τουρισμού. Επισκέπτες από κοντινές περιοχές, από πιο απομακρυσμένα μέρη της χώρας ή ακόμη και από άλλες χώρες του πλανήτη επισκέπτονται τα χιονοδρομικά κέντρα της Ελλάδας προκειμένου να απολαύσουν το αγαπημένο τους άθλημα και τη φυσική ομορφιά των χιονισμένων τοπίων της χώρας μας. Τη σεζόν 2022-2023, για παράδειγμα, στον Καναδά σημειώθηκε ο υψηλότερος αριθμός επισκεπτών σκιέρ που έχει καταγραφεί στα χιονοδρομικά κέντρα του Δυτικού Καναδά, με 10.3 εκατομμύρια επισκέψεις και παρατηρούμενη μετέπειτα αύξηση 43% των εσόδων των τοπικών επιχειρήσεων σε σύγκριση με το έτος 2020-2021. Άμεση συνέπεια αποτελεί άρα η αύξηση της τοπικής οικονομίας. Οι εγχώριες επισκέψεις επιτρέπουν στις περιοχές κοντά στα χιονοδρομικά κέντρα και τις κοντινές επιχειρήσεις να ανθίσουν οικονομικά, ενώ με τη δημιουργία νέων χιονοδρομικών κέντρων δημιουργούνται παράλληλα νέες θέσεις εργασίας.⁶⁹ Στη Γαλλία 250000 θέσεις εργασίας εξαρτώνται για παράδειγμα από τη λειτουργία των χιονοδρομικών κέντρων.⁵²

Αξίζει να σημειωθεί ότι δύο από τα μεγαλύτερα χιονοδρομικά κέντρα της Ελλάδας, ο Παρνασσός και το χιονοδρομικό κέντρο Καλαβρύτων, έχουν γύρω στις 500000-600000 επισκέψεις ετησίως, σύμφωνα με τον γενικό διευθυντή του χιονοδρομικού των Καλαβρύτων. Για το χιονοδρομικό κέντρο 3-5 ημερήσια φαίνεται επίσης ότι οι επισκέψεις ξεπερνάνε τις 400000, με βάση τον υπεύθυνο της εταιρείας που έχει εκμισθώσει το χιονοδρομικό. Συνολικά, λοιπόν, οι ετήσιες επισκέψεις στα χιονοδρομικά κέντρα της Ελλάδας ξεπερνάνε το 1 εκατομμύριο, όταν φυσικά και οι καιρικές συνθήκες το επιτρέπουν, ενώ το ενδιαφέρον για τις χιονοδρομίες και τα χειμερινά αθλήματα φαίνεται να εντείνεται συνεχώς.

Ωστόσο, το χιόνι αποτελεί ασταθές φυσικό φαινόμενο και οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής δυσχεραίνουν τη λειτουργία των χιονοδρομικών κέντρων, με τους χειμώνες να είναι πλέον όλο και θερμότεροι. Στο διάγραμμα που ακολουθεί φαίνεται πως έχει κυμανθεί ο παγκόσμιος δείκτης θερμοκρασίας από το 1880 έως το 2022, με την επιφάνεια της Γης να είναι πλέον όλο και θερμότερη. Αν δεν χιονίσει, δεν μπορούν να

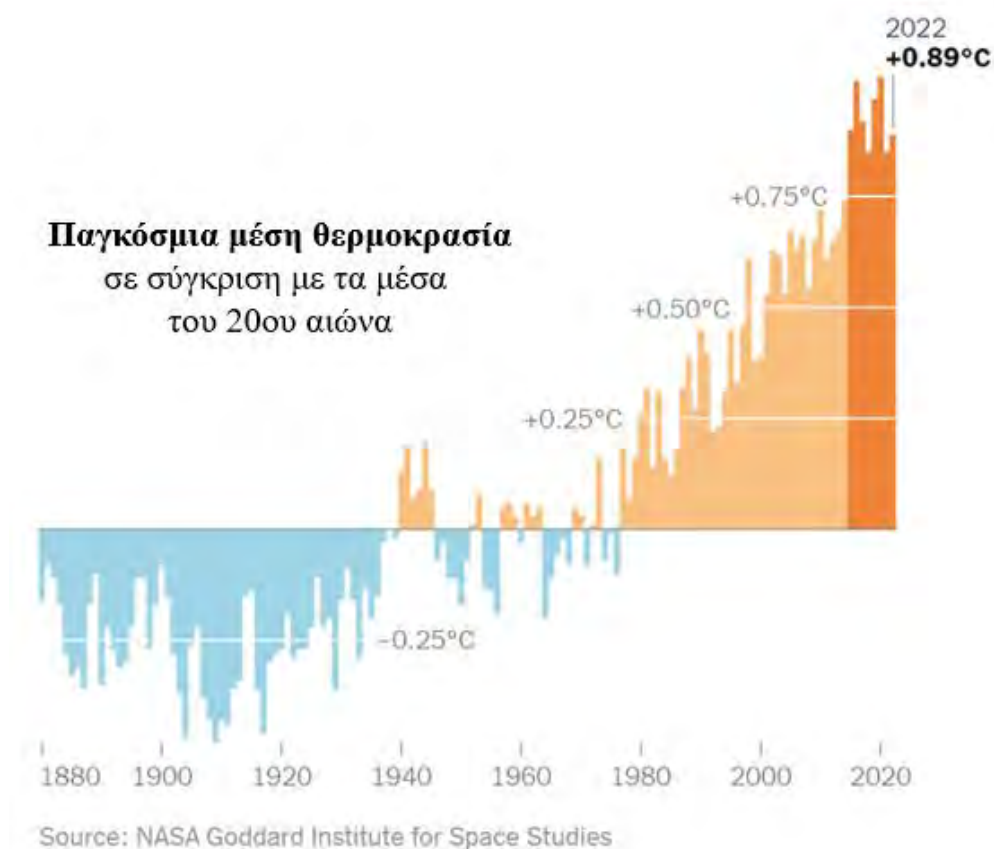
λειτουργήσουν πλήρως όλα τα χιονοδρομικά κέντρα και συνεπώς χάνεται το 50 % του ετήσιου τζίρου των περιοχών κοντά στα χιονοδρομικά κέντρα.



Εικόνα 17. Έλλειψη χιονιού σε χιονοδρομικό κέντρο.

(<https://d3.harvard.edu/platform-rctom/submission/ski-resorts-melting-away/>)

Η υιοθέτηση επομένως τεχνολογιών και μηχανών παραγωγής τεχνητού χιονιού δύναται να επιτρέψει σε όλο και περισσότερα χιονοδρομικά κέντρα να λειτουργούν ανεξαρτήτως καιρικών συνθηκών, επιτυγχάνοντας έτσι την σταδιακή άνθιση της τοπικής οικονομίας.⁷⁰



Σχήμα 1. Μεταβολή της παγκόσμιας θερμοκρασίας της επιφάνειας από το 1880 έως το 2022 (Πηγή δεδομένων: Ινστιτούτο Goddard της NASA για Διαστημικές Σπουδές (GISS))

<https://climate.nasa.gov/vital-signs/global-temperature/?intent=121>

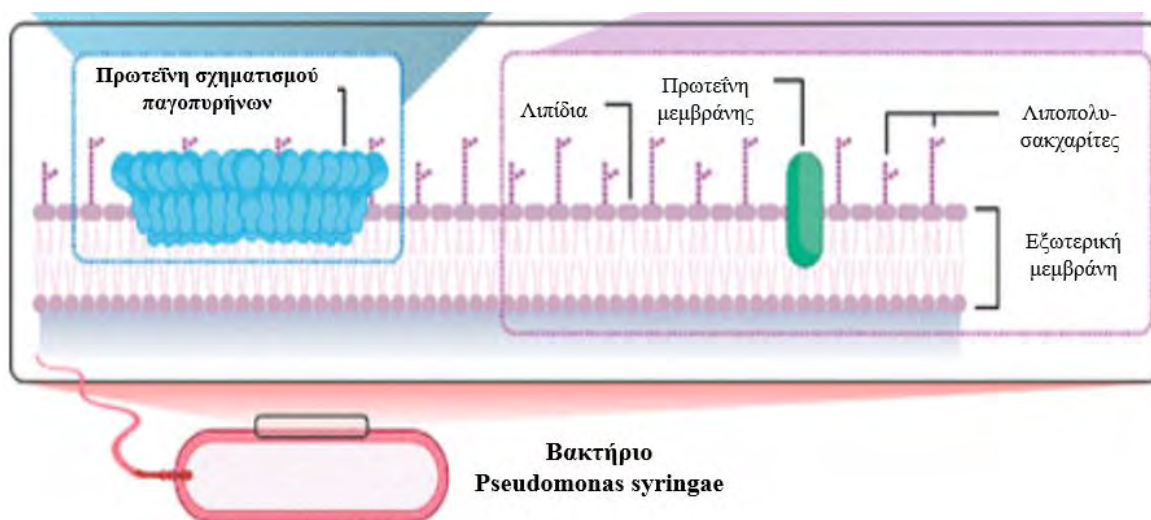
Κεφάλαιο 4: Προσθήκη πρωτεϊνών κατά τη παραγωγή τεχνητού χιονιού

Πρωτεΐνες και βακτήρια ως εκκινητές παγοπυρήνωσης–παγοπυρηνωτικοί παράγοντες

Σε θερμοκρασίες πάνω από -7°C , όχι δηλαδή αρκετά ψυχρές, ο πάγος δεν θα σχηματιστεί αυθόρμητα. Ωστόσο, στη φύση βιολογικά σωματίδια όπως βακτήρια, μύκητες και άλλοι μικροοργανισμοί λειτουργούν ως πυρήνες για τον σχηματισμό κρυστάλλων πάγου και μετέπειτα χιονιού σε θερμοκρασίες μεταξύ -10°C και 0°C , μέσω μιας διαδικασίας γνωστής ως βιολογικής παγοπυρήνωσης.⁸

Οι βακτηριακοί πυρήνες πάγου έχουν χαρακτηριστεί ως οι καλύτεροι εκκινητές της βιολογικής παγοπυρήνωσης. Ορισμένα αερόβια, αρνητικά κατά Gram βακτήρια, συνθέτουν μια πρωτεΐνη (λιπογλυκοπρωτεΐνη) στη μεμβράνη τους που προσδίδει στα βακτηριακά αυτά κύτταρα την ικανότητα να ξεκινούν την κρυστάλλωση του καθαρού νερού σε υψηλή σχετικά θερμοκρασία, ταξινομώντας τα μόρια νερού σε μια διάταξη για τον σχηματισμό κρυστάλλων πάγου.⁹

Η δραστηριότητα δημιουργίας πυρήνων πάγου στα βακτήρια ανακαλύφθηκε πρώτη φορά το 1970 και η ικανότητα τους να δημιουργούν παγοπυρήνες αποδόθηκε στις πρωτεΐνες που εντοπίζονται στην εξωτερική κυτταρική μεμβράνη του βακτηρίου.



Εικόνα 18. Πρωτεΐνες στην εξωτερική μεμβράνη του βακτηρίου *Pseudomonas syringae*

(<https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.jpcb.1c09342>)

Ένα τέτοιου είδους βακτήριο αποτελεί το *Pseudomonas syringae*, το οποίο επιτρέπει τη δημιουργία πυρήνων σε θερμοκρασίες -2°C . Πρόκειται για ραβδοειδές βακτήριο, που πήρε το όνομα του από το δέντρο της πασχαλιάς (*Syringa vulgaris*) από το οποίο απομονώθηκε πρώτη φορά. Ως φυτικό παθογόνο, το *Pseudomonas syringae* προκαλεί τον τραυματισμό των φυτικών ιστών των φυτών από παγετό. Ωστόσο έχει εντοπιστεί και στο χιόνι και το χαλάζι, γεγονός που δείχνει ότι μπορεί να συμβάλει και στις διαδικασίες

παγώματος του νερού στην ατμόσφαιρα λειτουργώντας ως ακαθαρσία για τον σχηματισμό πυρήνων πάγου.^{11,12}



Εικόνα 19. Βακτήριο *Pseudomonas syringae*

(<https://images.fineartamerica.com/images-medium-large-5/7-pseudomonas-syringae-dennis-kunkel-microscopyscience-photo-library.jpg>)

Γενικά τα περισσότερα από αυτά τα βακτήρια που λειτουργούν ως παγοπυρήνες είναι μέλη των επιφυτικών κοινοτήτων των φυτών, όπως τα στελέχη *Erwinia ananas*, *E. herbicola*, *Pseudomonas puorescens*, *Pseudomonas syringae* και *Xanthomonas campestris*.¹⁰

Snomax

Εισαγωγή

Πρόκειται για παγοπυρηνωτικό παράγοντα που ανακαλύφθηκε το 1975 από τον Steve Lindow, μεταπτυχιακό φοιτητή του πανεπιστημίου του Γουινσκόνσιν. Στην προσπάθεια εντοπισμού και διερεύνησης μεθόδων προστασίας των φυτών από τον παγετό ανακαλύφθηκε μια πρωτεΐνη που προέρχεται από το βακτήριο *Pseudomonas syringae* και προσελκύει τα μόρια του νερού, παγώνοντάς τα σε αρκετά υψηλές θερμοκρασίες (-4°C έως -2°C) και προάγοντας τη δημιουργία κρυστάλλων, ξεκινώντας δηλαδή την κρυστάλλωση. Η πρωτεΐνη αυτή που ανακαλύφθηκε τυχαία αποτέλεσε μετέπειτα βάση για την παραγωγή τεχνητού χιονιού. Το υλικό αυτό αξιοποιήθηκε εμπορικά και κυκλοφόρησε από το 1987 με την εμπορική ονομασία Snomax.³⁸ Το προϊόν αυτό λειτουργεί σε συνθήκες χαμηλής υγρασίας και σε υψηλότερες θερμοκρασίες (έως και -0.6°C) σε σχέση με τους υπόλοιπους παγοπυρηνωτικούς παράγοντες, ενώ σύμφωνα με τους κατασκευαστές μπορεί να επιταχύνει τη διαδικασία παράγοντας έως και 40% περισσότερο χιόνι. Η βελτιωμένη αυτή και πιο αποδοτική κρυστάλλωση πάγου διεξάγεται κοντά στο ακροφύσιο των κανονιών χιονιού, επιτρέποντας να χρησιμοποιηθεί σχεδόν όλο το διαθέσιμο νερό, εξασφαλίζοντας έτσι τη μειωμένη κατανάλωση νερού και ενέργειας.⁴⁸



Εικόνα 20. Εμπορικό σκεύασμα Snomax

(<https://www.toppteknik.se/uploads/products/snowmax.jpg>)

Τρόπος λειτουργίας

Το νερό προκειμένου να παγώσει σε χαμηλές θερμοκρασίες χρειάζεται ένα σωματίδιο σκόνης, κάποιο βακτήριο, μια ακαθαρσία δηλαδή, προκειμένου να προσκολληθούν σε αυτή οι κρύσταλλοι πάγου, διαφορετικά το νερό θα χρειαζόταν θερμοκρασία -40°C για να παγώσει. Το Snomax που αναμειγνύεται με το νερό και ψεκάζεται μέσω των κανονιών χιονιού, προσφέρει τους πυρήνες αυτούς γύρω από τους οποίους θα συσσωρευτούν τα παγωμένα σταγονίδια νερού για τον σχηματισμό των κρυστάλλων χιονιού. Κάθε γραμμάριο σκόνης πρωτεΐνης περιέχει περίπου 10^{11} πυρήνες. Μέσω της πρωτεΐνης αυτής αυξάνεται το ποσοστό των σταγονιδίων που αρχίζουν να παγώνουν και όταν οι νιφάδες αποκτήσουν αρκετό βάρος θα πέσουν στο έδαφος με τη μορφή χιονιού.⁴⁹

Θετικά

Το Snomax έχει προέλθει από ένα φυσικό μικρόβιο και επομένως είναι ένα βιολογικό υλικό με εξαιρετικά οφέλη. Εξαιτίας του Snomax κάθε σταγόνα θα βρει έναν πυρήνα ώστε να παγώσει, επομένως περισσότερο νερό γίνεται χιόνι και λιγότερο εξατμίζεται, με αποτέλεσμα να μειώνεται η κατανάλωση του νερού. Η προσθήκη του πρόσθετου αυτού εξασφαλίζει επίσης τη παραγωγή χιονιού σε υψηλότερες θερμοκρασίες (έως και -0.6°C) από ότι αυτή συμβαίνει συνήθως. Επιπλέον, με τη χρήση του επιτυγχάνουμε έως και 40% υψηλότερη παραγωγή χιονιού, καθώς έχουμε υψηλότερο ρυθμό ροής του νερού. Με τον τρόπο αυτό μειώνεται σημαντικά η κατανάλωση ενέργειας από τα κανόνια τεχνητού χιονιού,

εφόσον η στοχευμένη ποσότητα χιονιού επιτυγχάνεται σε πολύ μικρότερο χρονικό διάστημα. Με τον τρόπο αυτό μειώνεται και το λειτουργικό κόστος. Τέλος, είναι εξίσου σημαντικό ότι το Snomax οδηγεί σε καλύτερη ποιότητα παραγόμενου χιονιού, καθώς το νερό παγώνει πιο γρήγορα και ομοιόμορφα, ενώ καταφέρνουμε να διαρκεί πολύ περισσότερο, μειώνοντας έτσι και την ανάγκη αναπλήρωσης του, ενώ το καθιστά ιδανικό υλικό για χρήση στα χιονοδρομικά κέντρα όπου η ανάγκη ύπαρξης καλύτερης ποιότητας και πιο ανθεκτικού χιονιού, που διατηρείται για μεγάλο χρονικό διάστημα είναι επιτακτική.⁴⁹

Κεφάλαιο 5: Τεχνητό χιόνι

Ομογενής και ετερογενής παγοπυρήνωση

Το νερό μπορεί να εξατμιστεί λόγω της ύπαρξης της ηλιακής ακτινοβολίας και της θερμότητας, με αποτέλεσμα να σχηματίζονται υδρατμοί, οι οποίοι ανεβαίνουν στην ατμόσφαιρα και συμπυκνώνονται εξαιτίας των χαμηλών θερμοκρασιών που επικρατούν, οδηγώντας με τον τρόπο αυτό στον σχηματισμό σταγονιδίων νερού. Οι σταγόνες αυτές ξεκινούν να παγώνουν όταν η θερμοκρασία πέσει κάτω από τους -10°C λόγω της παρουσίας πυρήνων πάγου. Κάθε σταγόνα έχει διαφορετικό πυρήνα, γεγονός που σημαίνει ότι δεν θα παγώσουν όλες την ίδια χρονική στιγμή. Ειδικότερα, ένας πυρήνας πάγου όπως μια ένα σωματίδιο σκόνης για παράδειγμα ενεργεί ως καταλύτης για τη ψύξη της σταγόνας. Στη περίπτωση που η σταγόνα νερού παγώσει με αυτόν τον τρόπο σε θερμοκρασία που κυμαίνεται μεταξύ 0°C και -36°C έχουμε ετερογενή πυρήνωση. Διαφορετικά, σε περίπτωση που το νερό παγώσει αυθόρμητα εξαιτίας των θερμοδυναμικών του ιδιοτήτων χωρίς την παρουσία πυρήνων πάγου και σε θερμοκρασίες χαμηλότερες των -36°C , καλείται ομογενής πυρήνωση. Γενικά ο πάγος σχηματίζεται στην ατμόσφαιρα από σταγονίδια νερού και συγκεκριμένα στα σύννεφα, με τη διαδικασία να ονομάζεται «παγοπυρήνωση».

Ορισμός τεχνητού χιονιού

Με τον όρο τεχνητό χιόνι αναφερόμαστε σε μικρά σωματίδια πάγου που χρησιμοποιούνται προκειμένου να αυξηθεί η ποσότητα του παραγόμενου χιονιού. Πρόκειται δηλαδή για σταγονίδια νερού τα οποία ψεκάζονται στην ατμόσφαιρα με τη βοήθεια μηχανών παραγωγής χιονιού και παγώνουν έπειτα στις χαμηλές θερμοκρασίες του περιβάλλοντος. Το τεχνητό χιόνι δημιουργείται άρα μέσω ανθρώπινης παρέμβασης με τη χρήση μηχανημάτων, προσομοιάζοντας τη φυσική διαδικασία σχηματισμού του χιονιού.³⁸

Ο σωστός όρος για το χιόνι που έχει δημιουργηθεί με ανθρώπινη παρέμβαση είναι «τεχνικό χιόνι», ωστόσο έχει επικρατήσει ο όρος τεχνητό χιόνι, παρότι ο όρος αυτός στην πραγματικότητα αναφέρεται στο χιόνι που προέρχεται από πλαστικό και χρησιμοποιείται συνήθως στον κινηματογράφο και το θέατρο.



Εικόνα 21. Τεχνητό χιόνι

(<https://scitechdaily.com/images/Making-Artificial-Snow.jpg>)

Ιστορική αναδρομή

Η δημιουργία του τεχνητού χιονιού και η βασική αρχή των συστημάτων παραγωγής χιονιού ανακαλύφθηκε τυχαία, στα τέλη της δεκαετίας του 1940, όταν ο Αμερικανός ερευνητής Ray Ringer και η ομάδα του ψέκασαν νερό μέσα σε μια αεροδυναμική σήραγγα σε χαμηλές θερμοκρασίες με σκοπό να μελετήσουν την παγοποίηση των στροβιλοκινητήρων.³⁹



Εικόνα 22. Το πρώτο δίπλωμα ευρεσιτεχνίας για την παραγωγή χιονιού πήγε σε αυτή την ομάδα μηχανικών. Αυτή η εικόνα ήταν η πρώτη δοκιμή του πρωτοτύπου στις 14 Μαρτίου 1950

(<https://www.foxweather.com/learn/the-panicked-and-accidental-beginnings-of-snowmaking>)

Σταδιακά ξεκίνησαν να παρασκευάζονται μηχανές παραγωγής τεχνητού χιονιού, με τις πρώτες επιτυχημένες εμπορικές μηχανές πεπιεσμένου αέρα να αναπτύσσονται την δεκαετία του 1950 στην Αμερική. Η μηχανή Pierce πήρε το όνομα της από τον εφευρέτη της και χρησιμοποιούσε πεπιεσμένο αέρα ώστε να πιέσει το νερό μέσω ενός ακροφυσίου, το οποίο θα χώριζε το νερό σε μικρότερα σταγονίδια που στην συνέχεια θα κρυσταλλώσουν.

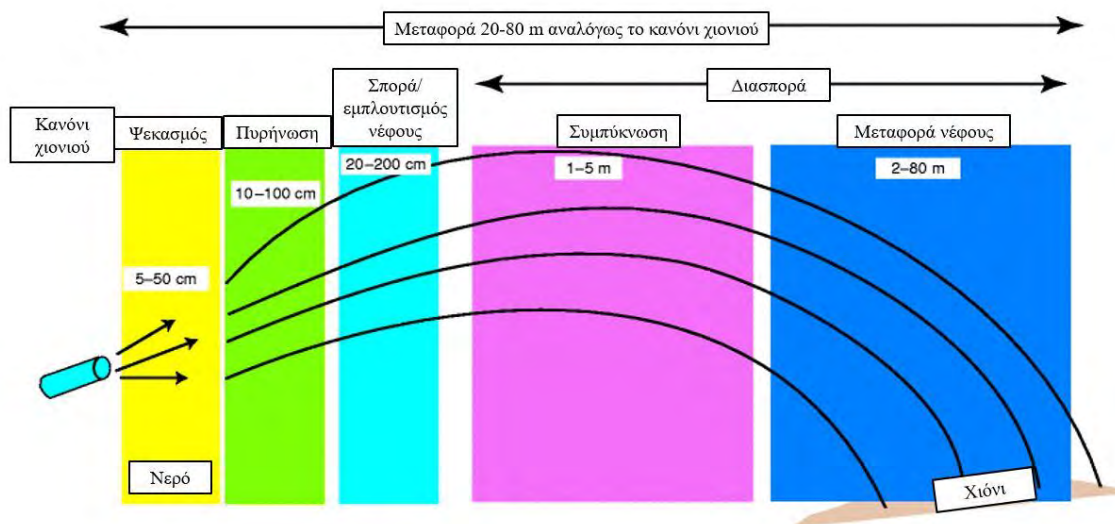
Με το πέρασ των χρόνων εισήχθησαν βελτιώσεις και νέες καινοτομίες, όπου 20 περίπου χρόνια μετά, κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1970 είχαμε τη προσθήκη περιστρεφόμενης βάσης και ανεμιστήρα, γεγονός που επέτρεψε τον ψεκασμό του χιονιού σε μεγαλύτερη απόσταση και προς όλες τις κατευθύνσεις. Την δεκαετία αυτή εισήχθη και το τεχνητό χιόνι στην Ευρώπη. Ακολούθησε η εισαγωγή στροβιλοκινητήρα με ανεμιστήρα, με τα μηχανήματα αυτά να είναι φορητά, αθόρυβα αλλά και λιγότερο δαπανηρά. Το 1984 το 59% των χιονοδρομικών κέντρων στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής παρήγαγε τεχνητό χιόνι, ενώ το 2001 περισσότερο από το 90%. Στην Ελβετία το 2001, το 7% των πιστών των χιονοδρομικών κέντρων καλύφθηκε με τεχνητό χιόνι, με το ποσοστό να αυξάνεται σημαντικά με το πέρασ των χρόνων.⁷

Μάλιστα, το 2014 χρησιμοποιήθηκε σε ποσοστό 80% για τους χειμερινούς Ολυμπιακούς αγώνες στο Σότσι της Ρωσίας, ενώ λίγο αργότερα, το 2018, στην πόλη Πιόνγκτσανγκ της επαρχίας Γκάνγκουον, στη Νότια Κορέα, 90% της χιονοκάλυψης ήταν τεχνητό χιόνι.⁵³

Η διαρκής ανάπτυξη της τεχνολογίας οδήγησε σταδιακά σε νέες αλλαγές και βελτιώσεις στα κανόνια χιονιού, με την ενσωμάτωση αισθητήρων αυτόματης ανίχνευσης ανάγκης ύπαρξης τεχνητού χιονιού αλλά και υπολογιστικά ελεγχόμενων χειριστηρίων. Σήμερα, τα περισσότερα χιονοδρομικά κέντρα είναι εξοπλισμένα και χρησιμοποιούν τέτοιου είδους συστήματα και μηχανές για να παράγουν μεγαλύτερη ποσότητα αλλά και καλύτερης ποιότητας χιόνι προκειμένου να καλύψουν τις απαιτήσεις και να βελτιώσουν τις συνθήκες διεξαγωγής των χειμερινών αθλημάτων. Επίσης, το τεχνητό χιόνι είναι πλέον απαραίτητο και χρησιμοποιείται σε εργαστηριακά πειράματα για τη προσομοίωση του χιονιού.^{5,38}

Τρόπος δημιουργίας

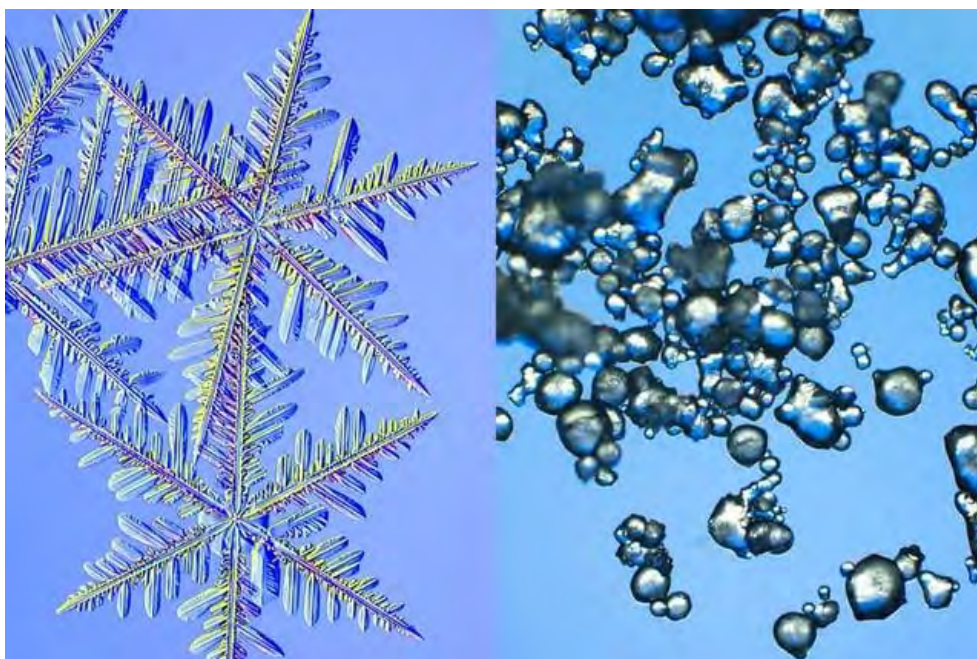
Βάση για τη δημιουργία του τεχνητού χιονιού αποτελεί το νερό. Το νερό προέρχεται συνήθως από κοντινές δεξαμενές που έχουν κατασκευαστεί πλησίον των χιονοδρομικών κέντρων ή από ρεύματα λιωμένου χιονιού. Τα ακροφύσια που βρίσκονται ενσωματωμένα στα κανόνια χιονιού χωρίζουν το νερό σε μικρότερες σταγόνες. Τα σταγονίδια νερού ψεκάζονται μέσω των μηχανών παραγωγής τεχνητού χιονιού στην ατμόσφαιρα, όπου λόγω της ύπαρξης χαμηλών θερμοκρασιών (συνήθως κάτω της θερμοκρασίας πήξης του νερού - 0°C) κρυσταλλώνουν. Οι κρύσταλλοι πάγου μεγαλώνουν λόγω της ύπαρξης ατμών και των χαμηλών θερμοκρασιών, συσσωρεύονται μεταξύ τους και πέφτουν με τη μορφή νιφάδων όταν αποκτήσουν το επιθυμητό βάρος.³⁹



Εικόνα 23. Διαδικασία παραγωγής τεχνητού χιονιού από κανόνια χιονιού
(https://link.springer.com/referenceworkentry/10.1007/978-90-481-2642-2_29/figures/148)

Διαφορές τεχνητού και φυσικού χιονιού

Το τεχνητό χιόνι προέρχεται από σταγόνες και όχι από ατμούς όπως το φυσικό χιόνι. Συνεπώς έχει διαφορετική δομή. Ειδικότερα, το φυσικό χιόνι έχει προκύψει από τη συμπύκνωση υδρατμών στους κόκκους του χιονιού, γεγονός που οδηγεί σε νιφάδες με σχήμα δενδρίτη. Αντίθετα, το τεχνητό χιόνι προέρχεται από τη γρήγορη ψύξη σταγόνων νερού από το εξωτερικό προς το εσωτερικό του πυρήνα, με αποτέλεσμα να προκύπτει μια μπάλα σφαιρικού σχήματος. Ουσιαστικά, αντί για νιφάδα, έχουμε έναν σφαιρικό μικροσκοπικό κόκκο, μεγέθους 0.05-2 mm, πολύ μικρότερο σε μέγεθος σε σύγκριση με το φυσικό χιόνι το οποίο είναι από 0.2 έως αρκετά mm. Ωστόσο όταν οι σφαιρικοί αυτοί κόκκοι βρεθούν στο έδαφος, συσσωρεύονται και συνδέονται μεταξύ τους και με άλλους κρυστάλλους χιονιού, γεγονός που συμβαίνει και στο φυσικό χιόνι. Η δομή τους δηλαδή αλλάζει καθώς φτάνουν στο έδαφος και αναμειγνύονται, με αποτέλεσμα η δομή του τεχνητού και του φυσικού χιονιού, αν και τελείως διαφορετική, να καταλήγει αρκετά παρόμοια.



Εικόνα 24. Δομή από μικροσκόπιο νιφάδων φυσικού χιονιού (αριστερά) και τεχνητού χιονιού (δεξιά)

(<https://preview.redd.it/bzho83nnp6i81.jpg?width=640&crop=smart&auto=webp&s=12a5d5a3f8d7963e0a1885bfd9388080890a7d94>)

Στην περίπτωση του τεχνητού χιονιού καθώς οι σταγόνες νερού παγώνουν γρήγορα μαζεύεται συχνά υψηλή πίεση όταν αρχίζει να παγώνει το εσωτερικό, γεγονός που οδηγεί συνήθως στη δημιουργία φυσαλίδων αέρα που μπορούν να διογκωθούν και προκαλέσουν ρωγμές στην επιφάνεια των κόκκων, προκύπτοντας έτσι μια πιο λεία επιφάνεια. Επιπλέον, επειδή το τεχνητό χιόνι έχει σφαιρική μορφή η πυκνότητα του είναι μεγαλύτερη από ότι αυτή του φυσικού χιονιού. Η πυκνότητα του τεχνητού χιονιού είναι περίπου 300-500 kg/m³, τέσσερις φορές μεγαλύτερη από τη πυκνότητα του φυσικού χιονιού. Η υψηλή αυτή πυκνότητα σε συνδυασμό με το μικρό μέγεθος των κόκκων και τις χαμηλές θερμοκρασίες κοντά στους 0°C διευκολύνει και επιταχύνει τη διαδικασία της πυροσυσσωμάτωσης -

επίτηξης, γεγονός που επιτρέπει στο τεχνητό χιόνι να αποκτήσει γρήγορα υψηλή αντοχή.^{5,6,41}

Είναι συνεπώς πιο ανθεκτικό και λιώνει πιο αργά. Για τους λόγους αυτούς το τεχνητό χιόνι χρησιμοποιήθηκε περισσότερο και χαρακτηρίστηκε καλύτερο για τις πίστες χιονοδρομίας και τα χιονοδρομικά κέντρα όπου το χιόνι χρειαζόταν να λειανθεί και να συμπίεστεί.⁴⁰

Τεχνολογίες παραγωγής τεχνητού χιονιού

Κανόνια χιονιού

Τα κανόνια χιονιού αναπτύχθηκαν τα τελευταία πενήντα χρόνια και χρησιμοποιούνται πλέον κατά κόρον στα περισσότερα χιονοδρομικά κέντρα ανά τον κόσμο για τη παραγωγή τεχνητού χιονιού. Μάλιστα ένα σύγχρονο κανόνι χιονιού είναι ικανό να παράγει σε ποσότητα δέκα φορτηγά τεχνητού χιονιού μέσα σε μία ώρα. Η χρήση τους επέτρεψε την καλύτερη ποιότητα χιονιού αλλά και την διαρκή χιονοκάλυψη των πιστών των χιονοδρομικών κέντρων ανεξαρτήτως εποχής ή θερμοκρασιών που επικρατούν. Ένα τυπικό κανόνι χιονιού αποτελείται από έναν ανεμιστήρα ταχείας δέσμης αέρος τοποθετημένο σε συγκλίνουσα βάση που παρέχει αέρα, από ένα ακροφύσιο ψεκασμού που ψεκάζει σταγόνες νερού στο κύριο ακροφύσιο στην έξοδο του κανονιού χιονιού. Το νερό αντλείται μέσω ενός δικτύου σωληνώσεων. Ο πεπιεσμένος αέρας εκτοξεύεται μέσω του ακροφυσίου, όπου συναντά το νερό το οποίο και διαχωρίζει σε μικρότερα σταγονίδια. Η απότομη απώλεια πίεσης αφαιρεί θερμότητα από το σύστημα, ψύχοντας έτσι το νερό προκειμένου να σχηματιστεί ένας πυρήνας πάγου. Ο ανεμιστήρας αναμειγνύει και ωθεί τους πυρήνες πάγου στον αέρα μαζί με τα σταγονίδια νερού, τα οποία συσσωρεύονται γύρω από τους πυρήνες πάγου και έπειτα παγώνουν με αποτέλεσμα όταν αποκτήσουν αρκετό βάρος να πέφτουν με τη μορφή χιονιού. Χρειάζεται λίγος χρόνος προκειμένου να επιτευχθεί η παγοκρυστάλλωση και ο σχηματισμός του χιονιού για το λόγο αυτό τα κανόνια είναι σχεδιασμένα να στέλνουν τους πυρήνες πάγου και τις σταγόνες νερού ψηλά στον αέρα, μέχρι και σε 60 μέτρα ύψος, όπου οι θερμοκρασίες είναι χαμηλότερες αλλά και το ύψος επιτρέπει επιπλέον χρόνο για εξάτμιση. Στην παρακάτω εικόνα απεικονίζεται ένα κανόνι χιονιού, ενώ συνοψίζονται οι βασικές λειτουργίες των μερών που το αποτελούν. Στην εικόνα 19 παρουσιάζονται τα ακροφύσια ενός κανονιού και πως οι σταγόνες κρυσταλλώνουν καθώς ψεκάζονται.^{4,40}



Εικόνα 25. Τυπικό κανόνι χιονιού

(https://www.xmas-passion.com/tienda/7723-thickbox_default/tr10-snow-cannon.jpg)



Εικόνα 26. Ακροφύσια κανονιού χιονιού και η διαδικασία με την οποία οι σταγόνες κρυσταλλώνουν καθώς ψεκάζονται

(<https://cosmosmagazine.com/technology/how-does-snow-machine-work/>)

Υπάρχουν δύο τύποι κανονιών χιονιού, τα κανόνια χιονιού χαμηλής πίεσης και τα κανόνια χιονιού υψηλής πίεσης. Στην περίπτωση του κανονιού χαμηλής πίεσης το νερό ψεκάζεται υπό πίεση μέσω των ακροφυσίων στο ρεύμα αέρος που δημιουργείται από τον ανεμιστήρα, ενώ στα κανόνια χιονιού υψηλής πίεσης ψεκάζεται μεγαλύτερη ποσότητα συμπυκνωμένου αέρα και νερού υπό πίεση.⁵



Εικόνα 27. Κανόνι χιονιού χαμηλής πίεσης (αριστερά) και υψηλής πίεσης (δεξιά)

([https://atlascope7.com/is/image/atlascope/Atlas+Copco+SNOW-LE+compressor+for+snowmaker?\\$landscape600\\$](https://atlascope7.com/is/image/atlascope/Atlas+Copco+SNOW-LE+compressor+for+snowmaker?$landscape600$))

Λόγχες χιονιού

Πρόκειται για κανόνια χιονιού υψηλής πίεσης. Λειτουργούν με παρόμοιο τρόπο με τα κανόνια χιονιού, με τη διαφορά ότι στον ανεμιστήρα δεν υπάρχει τοποθετημένη προπέλα που στροβιλίζει και αναμειγνύει νερό και αέρα, με αποτέλεσμα οι νιφάδες χιονιού να χρειάζονται μεγαλύτερο ύψος προκειμένου να κρυσταλλώσουν. Ωστόσο είναι περισσότερο ακριβείς ως προς το που προσγειώνεται το χιόνι που παράγεται.⁴²

Οι μηχανές αυτές οπτικά μοιάζουν με κοντάρια, μόνιμα εγκατεστημένα στις άκρες από τις πίστες των χιονοδρομικών κέντρων.



Εικόνα 28. Λόγχη χιονιού - Κανόνι χιονιού υψηλής πίεσης

(https://live.staticflickr.com/8751/17015117751_f88874cd4e_b.jpg)

Τεχνητά Σύννεφα

Ο Vincent Schaefer και ο Irving Langmuir, που ανήκαν και οι δύο στο ερευνητικό προσωπικό του ερευνητικού εργαστηρίου General Electric στο Schenectady της Νέας Υόρκης, εργάστηκαν επάνω στη σπορά των νεφών κατά τη δεκαετία του 1940. Ο Schaefer, ανακάλυψε ότι ο ξηρός πάγος μετατρέπει τις υπερψυχμένες σταγόνες νερού σε ένα σύννεφο σε κρυστάλλους πάγου, που κατακρημνίζονται στη συνέχεια με τη μορφή χιονιού.

Λίγο αργότερα, το 1946, χρονολογείται η πρώτη προσπάθεια τροποποίησης του καιρού με τη χρήση νεφών, που έμεινε γνωστή ως πείραμα Schaefer-Langmuir. Το πείραμα αυτό περιλάμβανε τη ρίψη ξηρού πάγου σε ένα υπερψυχτικό σύννεφο πάνω από το όρος Greylock στη Μασαχουσέτη, το οποίο οδήγησε στην επιτυχή δημιουργία χιονοπτώσεων.

Η τεχνολογία αυτή προσομοιάζει τον σχηματισμό της βροχής ή του χιονιού στα σύννεφα. Δημιουργούνται τεχνητά σύννεφα που μπορούν να παράγουν κρυστάλλους πάγου. Ειδικότερα, σταγονίδια νερού ψεκάζονται στα νέφη όπου εξαιτίας των χαμηλών θερμοκρασιών που επικρατούν παγώνουν και δημιουργούνται κρύσταλλοι πάγου. Τα σωματίδια αυτά λειτουργούν ως πυρήνες και σταγόνες συσσωρεύονται γύρω από αυτούς, με αποτέλεσμα οι κρύσταλλοι να μεγαλώνουν και όταν αποκτήσουν αρκετό βάρος πέφτουν ως σταγόνες βροχής ή νιφάδες χιονιού. Η τεχνολογία αυτή αξιοποιήθηκε ιδιαίτερα για τη παραγωγή χιονιού. Σε σύγκριση με άλλες στρατηγικές αύξησης του νερού ή του χιονιού είναι οικονομικά αποδοτικότερη μέθοδος.⁴³



Εικόνα 29. Δημιουργία τεχνητών νεφών

(<https://sciencenotes.org/wp-content/uploads/2024/04/Cloud-Seeding-1024x683.png>)

Χιονοδρομικά κέντρα στην Ελλάδα με τεχνολογίες παραγωγής τεχνητού χιονιού

Στην Ελλάδα τρία χιονοδρομικά κέντρα διαθέτουν συστήματα τεχνητής χιόνωσης, μεταξύ αυτών το Πισοδέρι, τα 3-5 πηγάδια και το χιονοδρομικό κέντρο Καϊμακτσαλάν.

Το χιονοδρομικό κέντρο Πισοδερίου-Βίγλας ήταν το πρώτο χιονοδρομικό στην Ελλάδα στο οποίο εγκαταστάθηκαν συστήματα και αξιοποιήθηκαν οι τεχνολογίες παραγωγής τεχνητού χιονιού. Το 1997, εγκαταστάθηκε το πρώτο κανόνι χιονιού στην Ελλάδα (TECHNOALPIN LATEMAR M90/3), ενώ σήμερα διαθέτει πλέον τρία, τα οποία είναι μεταφερόμενα.⁴⁵



Εικόνα 30. Χιονοδρομικό κέντρο Πισοδερίου-Βίγλας

(<https://hotel-lingos.gr/wp-content/uploads/2015/12/bigla-pisoderi.jpg>)

Το χιονοδρομικό κέντρο 3-5 πηγάδια – Βέρμιο στην Νάουσα διαθέτει εγκατεστημένο σύστημα παραγωγής τεχνητού χιονιού. Η εγκατάσταση του συστήματος πραγματοποιήθηκε το 2002 στη πίστα αρχαρίων, δίνοντας τη δυνατότητα συνεχούς κάλυψης των πιστών καθ' όλη τη διάρκεια του χειμώνα, ανεξαρτήτως των καιρικών συνθηκών και θερμοκρασιών που επικρατούν. Αυτό σημαίνει ότι το χιονοδρομικό κέντρο έχει τη δυνατότητα να λειτουργεί για διάστημα τουλάχιστον 5 μηνών έχοντας επαρκή χιονοκάλυψη. Το χιονοδρομικό κέντρο 3-5 πηγάδια αποτελεί το χιονοδρομικό κέντρο στην Ελλάδα με τα περισσότερα κανόνια χιονιού, 20 σε αριθμό, 9 σταθερά και 11 μεταφερόμενα. Μεταξύ αυτών διαθέτει δύο νέα υψηλής τεχνολογίας μεταφερόμενα κανόνια χιονιού τύπου T60 και ένα χαμηλής πίεσης κανόνι το οποίο λειτουργεί σε υψηλές θερμοκρασίες μέχρι και +2°C.^{44,45}



Εικόνα 31. Χιονοδρομικό κέντρο 3-5 πηγάδια – Βέρμιο

(<https://www.gtp.gr/LocInfo.asp?infoId=139&IncludeWide=0&PrimeCode=EGR&PrimeLevel=2&LocId=69&lng=1>)

Ένα από τα χιονοδρομικά κέντρα στην Ελλάδα που διαθέτει επίσης τεχνολογίες παραγωγής τεχνητού χιονιού αποτελεί το χιονοδρομικό κέντρο Καϊμακτσαλάν στην Έδεσσα. Το 2005 πραγματοποιήθηκε η εγκατάσταση του συστήματος τεχνητής χιόνωσης, η οποία καλύπτει πλήθος των πιστών του χιονοδρομικού. Ειδικότερα, διατίθενται τέσσερις κινητές μονάδες παραγωγής τεχνητού χιονιού (κανόνια χιονιού), τα τρία πρώτα τύπου M1812, έξι ψεκαστήρες-λόγχες χιονιού, αντλιοστάσιο και υπόγεια δεξαμενή για την άντληση του νερού.^{44,45}



Εικόνα 32. Χιονοδρομικό κέντρο Καϊμακτσαλάν

(https://www.rouga.gr/slider/72/slider_image.jpg)

Επιπλέον, μέσα στο 2024 αναμένεται να ξεκινήσει το έργο εγκατάστασης τεχνολογιών τεχνητής χιόνωσης και για το χιονοδρομικό κέντρο Σελίου, το οποίο πιθανολογείται ότι θα ολοκληρωθεί μέχρι το 2025. Συγκεκριμένα η εγκατάσταση πολλών μεταφερόμενων κανονιών χιονιού θα εξασφαλίσει την διαρκή χιονοκάλυψη των μισών τουλάχιστον πιστών του χιονοδρομικού κέντρου ανεξαρτήτως θερμοκρασιών και καιρικών συνθηκών.^{46,47}



Εικόνα 33. Χιονοδρομικό κέντρο Σελίου

(https://www.in.gr/wp-content/uploads/2019/12/vermio.seli_chionodromiko.artemis.pista_.jpg)

Κεφάλαιο 6: Περιβαλλοντικό αποτύπωμα

Εισαγωγή

Η ανακάλυψη της τεχνολογίας του τεχνητού χιονιού και των μηχανημάτων τεχνητής χιόνωσης φαίνεται ότι έφερε την επανάσταση στα χειμερινά αθλήματα και την διευκόλυνση πραγματοποίησής τους, καθώς προσέφερε τη δυνατότητα στους σκιέρ να απολαμβάνουν τις αγαπημένες τους δραστηριότητες ανεξαρτήτως εποχής, καιρικών συνθήκων ακόμη και σε περιοχές που μέχρι πρότινος δεν ενδεικνύονταν για την διεξαγωγής τους. Το τεχνητό χιόνι έχει αναδειχθεί ως εξαιρετική επιλογή και λύση για τα χιονοδρομικά κέντρα που αντιμετωπίζουν προβλήματα έλλειψης φυσικού χιονιού και η χιονοκάλυψη δεν είναι επαρκής, ιδιαίτερα σε περιοχές που έχουν επηρεαστεί από την κλιματική αλλαγή. Η χρήση επομένως μηχανών παραγωγής τεχνητού χιονιού αλλά και πρόσθετων παγοπυρηνωτικών παραγόντων έχει αυξηθεί ιδιαίτερα τα τελευταία 20 χρόνια. Ωστόσο, αν και η τεχνητή χιόνωση φαίνεται σωτήρια λύση για τα χιονοδρομικά κέντρα και την τοπική οικονομία, καθώς τα πλεονεκτήματα που προσφέρει είναι προφανή, είναι σημαντικό να αναλογιστούμε και να διερευνήσουμε τυχόν αρνητικές επιπτώσεις που μπορεί να επιφέρει στο περιβάλλον αλλά και την ανθρώπινη υγεία.

Έδαφος και βλάστηση

Αν και έχει γίνει εκτενής έρευνα για τις επιδράσεις της κατασκευής χιονοδρομικών κέντρων και συγκεκριμένα χιονοδρομικών πιστών από φυσικό χιόνι στο έδαφος και τη βλάστηση, οι σύγχρονες πίστες με τεχνητή χιόνωση δεν έχουν μελετηθεί πλήρως. Ωστόσο, αρκετές μελέτες επικεντρώνονται στο τεχνητό χιόνι και τις επιπτώσεις της συμπαγούς αυτής χιονοκάλυψης των πιστών των χιονοδρομικών κέντρων. Αν και θεωρητικά το συμπίεσμένο χιόνι, το συμπαγές αυτό στρώμα χιονιού, θα έπρεπε να λειτουργεί ως μόνωση και να προστατεύει το έδαφος αποτρέποντας το πάγωμα του, έρευνα έχει δείξει ότι η αυξημένη θερμική αγωγιμότητα του συμπίεσμένου χιονιού μπορεί να οδηγήσει σε σοβαρό παγετό, σχηματισμό δηλαδή στρωμάτων πάγου, και συνεπώς στην βλάβη και την καθυστέρηση ανάπτυξης των φυτών.^{7,13}

Ειδικότερα, η θερμοκρασία που επικρατεί στο έδαφος κάτω από το στρώμα φυσικού χιονιού κυμαίνεται μεταξύ -7.2°C έως -12°C , με μέση θερμοκρασία μικρότερη των -2°C . Οι θερμοκρασίες που επικρατούν κάτω από το στρώμα τεχνητού χιονιού είναι εξίσου ισορροπημένες ως προς τη διακύμανση της θερμοκρασίας, με τη μέση θερμοκρασία να υπολογίζεται πάνω από -0.7°C . Συνεπώς και στην περίπτωση του τεχνητού χιονιού εμφανίζεται παγετός, περιστασιακά όμως, όχι στον ίδιο βαθμό και για λιγότερο χρονικό διάστημα σε σύγκριση με το φυσικό χιόνι. Αν και το τεχνητό χιόνι έχει μεγαλύτερη πυκνότητα που οφείλεται στη δομή του, το αυξανόμενο πάχος χιονιού είναι αυτό που ευθύνεται για τις καλύτερες μονωτικές του ιδιότητες.⁷ Το γεγονός όμως ότι λιώνει πιο αργά σε σύγκριση με το φυσικό χιόνι, φάνηκε να το καθιστά λιγότερο ικανό να υποστηρίξει την ανάπτυξη των φυτικών ειδών. Πρόκειται δηλαδή για αρκετά συμπίεσμένο χιόνι που για να καταφέρει να ξεπαγώσει αργά χρειάζεται χρόνος, με αποτέλεσμα να μην επιτρέπει την ζωή των φυτών κάτω από αυτό και να καθυστερεί την αναβίωση τους.^{52,53} Επιπλέον, η καθυστέρηση στην τήξη του τεχνητού χιονιού μπορεί να επηρεάσει τα επίπεδα του υδροφόρου ορίζοντα, του γεωλογικού σχηματισμού-ζώνης για την αποθήκευση των υπόγειων υδάτων, μεταξύ εδάφους κορεσμένου σε νερό και ξηρού εδάφους.⁵⁴

Το γεγονός επομένως ότι επιδρά στον υδροφόρο ορίζοντα και δημιουργεί στρώματα πάγου στα φυτά μπορεί επηρεάσει τη σύνθεση των ειδών αλλά και τα εδαφικά χαρακτηριστικά των οικοτόπων, με ταυτόχρονη μείωση της βιοποικιλότητας ενός τοπικού οικοσυστήματος.¹⁴

Τέλος, η χρήση εμπορικών σκευασμάτων παγοπυρηνωτικών παραγόντων, αποστειρωμένων πρόσθετων που προέρχονται από φυτοπαθογόνα βακτήρια, παρότι σχηματίζουν πυρήνες πάγου επιτυγχάνοντας πιο γρήγορη ψύξη και καλύτερη ποιότητα χιονιού, φάνηκε να επηρεάζουν αρνητικά την ανάπτυξη της αλπικής χλωρίδας σε μελέτες που διεξάχθηκαν στο εργαστήριο. Το νερό που χρησιμοποιείται κατά τη παραγωγή του χιονιού έχει επεξεργαστεί χημικά με τη προσθήκη αυτών των πρόσθετων και όταν επομένως λιώνει, οι ουσίες αυτές περνάνε στο έδαφος επηρεάζοντας τους οργανισμούς που αναπτύσσονται σε αυτό, με αποτέλεσμα οι ανησυχίες για τις χημικές επιπτώσεις των προϊόντων τεχνητού χιονιού στο περιβάλλον να εντείνουν διαρκώς.¹⁴



Εικόνα 34. Βλάστηση σε χιόνι

(https://images.newscientist.com/wp-content/uploads/2022/12/13115826/SEI_136757586.jpg)

Κατανάλωση ενέργειας

Τα χιονοδρομικά κέντρα και συγκεκριμένα τα κανόνια παραγωγής τεχνητής χιόνωσης έχουν μεγάλες ενεργειακές απαιτήσεις. Προκειμένου το νερό να γίνει χιόνι χρειάζεται ηλεκτρική ενέργεια, η οποία χρησιμοποιείται για να λειτουργούν τα όπλα χιονιού, οι ανεμιστήρες, οι συμπιεστές, τα ακροφύσια θέρμανσης κα. Η πρώτη εθνική έρευνα για τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις του τεχνητού χιονιού αναφέρει μάλιστα ότι απαιτείται ενέργεια από 17000 περίπου σπίτια ετησίως για τη παραγωγή χιονιού στα χιονοδρομικά κέντρα μόνο του Καναδά προκειμένου να καλυφθούν οι ανάγκες για χιονοδρομία και άλλες χειμερινές

δραστηριότητες. Ειδικότερα, βρέθηκε ότι παραπάνω από 478000 MWh ηλεκτρικής ενέργειας απαιτούνται το χρόνο για τη παραγωγή τεχνητού χιονιού στον Καναδά, με τις απαιτήσεις ενέργειας να προβλέπεται ότι θα αυξηθούν από 55% έως 97% στα επόμενα χρόνια, μέχρι το 2050.⁵⁵

Οι τεράστιες αυτές ενεργειακές απαιτήσεις επηρεάζουν αρνητικά το περιβάλλον εξαιτίας του τρόπου με τον οποίο παράγεται η ηλεκτρική ενέργεια. Το 86% των ενεργειακών αναγκών καλύπτεται από τη καύση ορυκτών καυσίμων. Για να παραχθεί δηλαδή οποιαδήποτε μορφή ενέργειας, ηλεκτρική ή θερμική για παράδειγμα, ορυκτά καύσιμα όπως ο άνθρακας, συνήθως λιγνίτης, το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο καίγονται. Τα ορυκτά αυτά καύσιμα είναι φυσικοί πόροι, προέρχονται από φυσικές πηγές, χρειάζονται εκατομμύρια χρόνια για να σχηματιστούν και άρα είναι μη ανεξάντλητοι. Η χωρίς μέτρο αξιοποίηση τους για τη παραγωγή ενέργειας μπορεί να οδηγήσει στην εξάντληση τους, ενώ οι εξορύξεις τους καταστρέφουν συνήθως το φυσικό περιβάλλον και την φυσική ομορφιά απομακρύνοντας ταυτόχρονα και την άγρια ζωή που κατοικεί στις περιοχές αυτές. Στην περίπτωση μάλιστα που χρησιμοποιείται πετρέλαιο για τη καύση, πιθανές διαρροές κατά την εξόρυξη και τη μεταφορά μπορούν να μολύνουν τη θάλασσα και τα θαλάσσια οικοσυστήματα.

Κατά τη καύση των ορυκτών καυσίμων ο άνθρακας αντιδρά με το υδρογόνο και το οξυγόνο του αέρα και παράγεται διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) και νερό, ενώ εκλύεται και ενέργεια με τη μορφή θερμότητας. Το διοξείδιο του άνθρακα είναι το κύριο αέριο που ευθύνεται για το φαινόμενο του θερμοκηπίου, φαινόμενο που αναφέρεται στο πως ορισμένα αέρια στην ατμόσφαιρα επιτρέπουν την είσοδο ακτινοβολίας βραχέων κυμάτων, ενώ παγιδεύουν την θερμική ακτινοβολία που εκπέμπεται από την επιφάνεια της Γης, οδηγώντας έτσι στην υπερθέρμανση του πλανήτη αλλά και τη κλιματική αλλαγή, έχοντας το λιώσιμο των πάγων, αλλά και την επικράτηση ακραίων φαινομένων όπως τυφώνες και ξηρασία. Οι ενεργειακές απαιτήσεις για τη παραγωγή τεχνητού χιονιού στα χιονοδρομικά κέντρα του Καναδά συνεπάγονται τη εκπομπή 130095 τόνων διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα.^{56,57}



Εικόνα 35. Καπνός από τις καμινάδες του σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στο Belchatow της Πολωνίας, 31 Οκτωβρίου 2013

(<https://insideclimatenews.org/wp-content/uploads/2015/12/CoalEuropeReuters.jpg>)

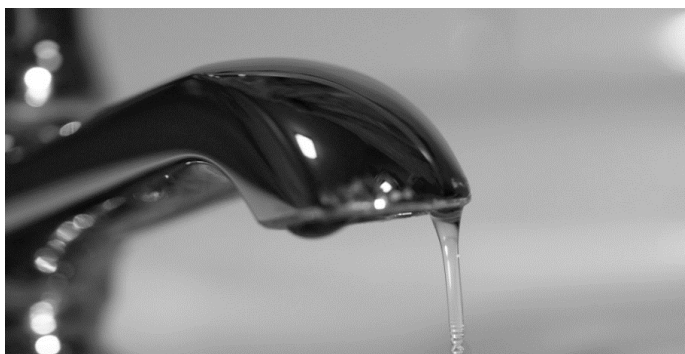
Εκτός όμως από το διοξείδιο του άνθρακα και του νερού υπό τη μορφή υδρατμών, κατά τη καύση εκπέμπονται και άλλα αέρια του θερμοκηπίου, όπως οξείδια του αζώτου, μονοξείδιο του άνθρακα (CO) και διοξείδιο του θείου (SO₂). Οι ουσίες αυτές είναι επιβλαβείς για το περιβάλλον και την ατμόσφαιρα, με τα οξείδια του αζώτου και του θείου που απελευθερώνονται να ευθύνονται για το σχηματισμό της αιθαλομίχλης και της όξινης βροχής. Συγκεκριμένα, η αιθαλομίχλη είναι μια μορφή ατμοσφαιρικής ρύπανσης που αποτελείται από σωματίδια αιθάλης και διοξείδιο του θείου το οποίο είναι δηλητηριώδες αέριο. Η όξινη βροχή, από την άλλη, πρόκειται για φαινόμενο ασυνήθιστα όξινων κατακρημνισμάτων εξαιτίας της παρουσίας όξινων διαλυμένων αέριων ρύπων, που έχει καταστροφικές επιπτώσεις στο περιβάλλον, τα οικοσυστήματα εξαφανίζοντας διάφορες μορφές ζωής (χλωρίδα και πανίδα) και την ανθρώπινη υγεία.^{56,57}

Κατανάλωση νερού

Οι κανόνια παραγωγής τεχνητού χιονιού χρειάζονται νερό, ώστε να παραχθεί το τεχνητό χιόνι. Σύμφωνα με την Διεθνή Επιτροπή για την προστασία των Άλπεων (CIPRA) απαιτούνται περίπου 1000 λίτρα για την παραγωγή όγκου 2.5 m³ τεχνητού χιονιού και επομένως 1 εκατομμύριο λίτρα νερού για τη κάλυψη ενός 1 εκτάριου, 10 δηλαδή στρεμμάτων της επιφάνειας του χιονοδρομικού κέντρου. Έχει υπολογιστεί ότι στις Γαλλικές Άλπεις για τη παραγωγή τεχνητού χιονιού χρειάζονται 20-25 εκατομμύρια κυβικά μέτρα νερού κάθε χρόνο, όσο περίπου χρειάζεται μια πόλη στο μέγεθος της Γκρενόμπλ της Γαλλίας.⁵²

Για τη παραγωγή χιονιού στους χειμερινούς Ολυμπιακούς και Παραολυμπιακούς αγώνες του 2022, στο Zhangjiakou της Βόρειας Κίνας, χρειάστηκαν 192 εκατομμύρια γαλόνια για έναν από τους δύο υπαίθριους χώρους, ενώ θα χρειαζόταν περίπου 343 εκατομμύρια γαλόνια συνολικά, όσο αντιστοιχεί με το πόσιμο νερό που χρειάζονται 900 εκατομμύρια άνθρωποι μέσα σε μία μέρα.^{58,92}

Παρατηρούμε δηλαδή ότι ο όγκος νερού που απαιτείται είναι μεγάλος και προβλέπεται η ζήτηση σε νερό να συνεχίσει να αυξάνεται μέσα στα επόμενα χρόνια καθώς η κλιματική αλλαγή επιφέρει υψηλότερες θερμοκρασίες και μεταβολές του κλίματος με συνέπεια περισσότερο τεχνητό χιόνι να χρειάζεται για τη κάλυψη των πιστών των χιονοδρομικών κέντρων και άρα και περισσότερο νερό. Το γεγονός αυτό θα μπορούσε να οδηγήσει σε έλλειψη του φυσικού αυτού πόρου και αδυναμία κάλυψης των ανθρώπινων και περιβαλλοντικών απαιτήσεων για νερό διαφόρων περιοχών του πλανήτη.



Εικόνα 36. Προβληματισμοί και ανησυχίες σχετικά με την υπέρογκη κατανάλωση νερού στα χιονοδρομικά κέντρα

(<https://ermisnews.gr/wp-content/uploads/2020/07/nero9841.png>)

Ανθρώπινη υγεία

Ο καθηγητής Richard Braun μελέτησε το Snomax για το Ινστιτούτο Swiss Biolink, το 1998, όπου και συμπέρανε ότι είναι αβλαβές για την υγεία των ανθρώπων, των ζώων και των φυτών, χωρίς να παρατηρήθηκαν αρνητικές συνέπειες στη βλάστηση.⁴⁹

Ωστόσο, η χρήση βιολογικών πρόσθετων που προέρχονται από βακτήρια εγείρει τις ανησυχίες σχετικά με τις επιπτώσεις τους στην ανθρώπινη υγεία, για το λόγο αυτό και οι πρόσθετες αυτές πρωτεΐνες όπως το Snomax αξιολογήθηκαν από τη Γαλλική Υπηρεσία για την Περιβαλλοντική και Επαγγελματική Ασφάλεια της Υγείας (AFFSET) ως προς τους κινδύνους που μπορεί να επιφέρει η χρήση τους στον άνθρωπο. Στα χιονοδρομικά κέντρα ο επισκέπτης, ο σκιέρ αλλά κυρίως το προσωπικό του χιονοδρομικού κέντρου έρχονται σε επαφή με το τεχνητό χιόνι. Κύριοι κίνδυνοι για τον άνθρωπο μέσα από την επαφή αυτή που πρέπει να διερευνηθούν αποτελούν η μόλυνση, η αλλεργική αντίδραση και η τοξικότητα, τα οποία ενδεχομένως σχετίζονται με τη προέλευση της πρωτεΐνης από τα βακτηριακά κύτταρα *P. Syringae*. Φάνηκε ότι το στέλεχος του βακτηρίου *P. Syringae* δεν έχει παθογόνο δράση στον άνθρωπο και άρα και ικανότητα μόλυνσης, άλλωστε το βακτήριο δεν μπορεί να επιβιώσει σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες από τους 32°C και επομένως και στον ανθρώπινο οργανισμό. Το βακτήριο *P. Syringae* όπως κάθε Gram-αρνητικό βακτήριο περιέχει λιποσακχαρίτες στην εξωτερική μεμβράνη και συνεπώς και ενδοτοξίνες, οι οποίες προκαλούν φλεγμονή ύστερα από επαφή με τους βλεννογόνους και το δέρμα. Η συγκέντρωση ενδοτοξινών στα σκευάσματα παγοπυρηνωτικών παραγόντων είναι χαμηλότερη των συγκεντρώσεων που μπορούν να προκαλέσουν παθογόνο δράση, ωστόσο στα εμπορικά σκευάσματα αναφέρεται η παρουσία ενδοτοξινών, με την προειδοποίηση ότι η ενδεχόμενη εισπνοή σκόνης θα μπορούσε να προκαλέσει βήχα ή ερεθισμό στον λαιμό. Επίσης, το βακτήριο αυτό εμπεριέχει δομές αντιγόνων οι οποίες είναι δυνατό διεγείρουν κάποια ειδική ανοσοαπόκριση όταν έρθουν σε επαφή με το δέρμα, τους βλεννογόνους ή κάποια πληγή. Γενικά όμως, δεδομένου του μικρού αριθμού των διαθέσιμων ερευνών, δεν είναι εφικτό να προσδιορίσουμε επακριβώς τις αντιδράσεις που πραγματικά θα μπορούσαν να προκληθούν από τη χρήση των βιολογικών αυτών πρόσθετων σε ανθρώπους ή ζώα, συνεπώς απαιτείται πρόσθετη διερεύνηση και μελέτη.¹⁵

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Μελέτη της επίδρασης των εμπορικών σκευασμάτων παγοπυρηνωτικών παραγόντων (Snomax) στην δημιουργία κρυστάλλων πάγου

Υλικά

Ο Παγοπυρηνωτικός παράγοντας για τον σχηματισμό χιονιού Snomax, χωρητικότητας αντλίας 1000 ml/minute

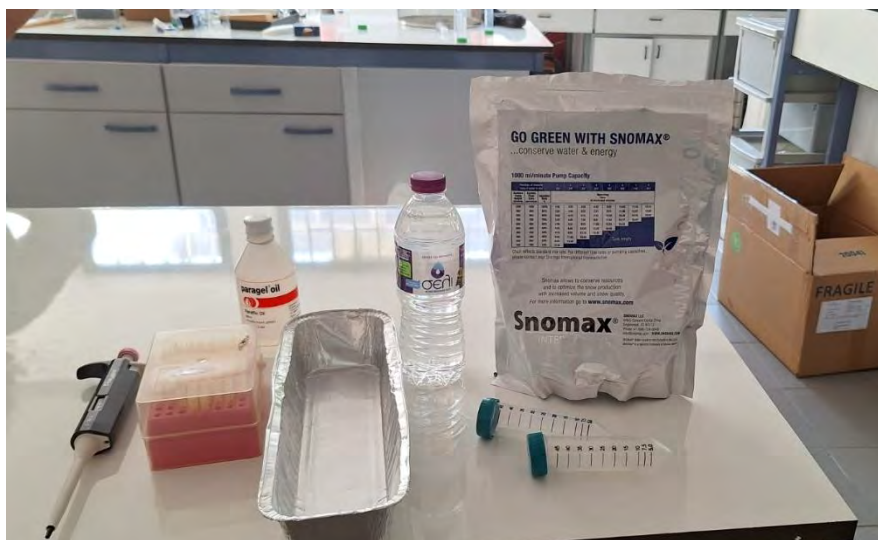
Ο Υγρή παραφίνη – παραφινέλαιο της εταιρείας Paragel Oil

Ο Βιοαιθανόλη

Ο Εμφιαλωμένο νερό «ΣΕΛΙ» της εταιρείας Σ. ΜΕΝΤΕΚΙΔΗΣ Α.Ε (pH 7.5)



Εικόνα 37. Εμπορικό σκεύασμα Snomax



Εικόνα 38. Υπόλοιπα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν

Εξοπλισμός

Για την διεξαγωγή του πειράματος χρειαστήκαμε τις ακόλουθες εργαστηριακές συσκευές-όργανα και εξοπλισμό:

- Ο Ζυγός ακριβείας
- Ο Θερμοστάτης ψύξης και θέρμανσης Lauda Ecoline RE120
- Ο Αναδευτήρας Vortex Mixer της εταιρείας Stuart
- Ο Πιπέτα ακριβείας 20 μL με tips
- Ο2 πλαστικά Falcon των 50 ml
- Ο Δοχείο από αλουμίνιο



Εικόνα 39. Θερμοστάτης ψύξης Lauda Ecoline RE120 (αριστερά) και αναδευτήρας vortex (δεξιά)

Πειραματική Διαδικασία

Αρχικά τοποθετήσαμε 10 L βιοιθανόλης στο λουτρό του θερμοστάτη ψύξης Lauda Ecoline RE120 και περιμέναμε μέχρις ότου η θερμοκρασία φτάσει από τη θερμοκρασία δωματίου (περίπου 20.8°C) στους -5°C και στους -8°C αντίστοιχα, καθώς το πείραμα πραγματοποιήθηκε για δύο διαφορετικές θερμοκρασίες. Παράλληλα, μέχρι να αποκτήσει ο θερμοστάτης ψύξης την επιθυμητή θερμοκρασία, προετοιμάσαμε τα δύο δείγματα μας. Το πρώτο δείγμα, δείγμα αναφοράς, αποτελούταν από 40 ml εμφιαλωμένου νερού της επωνυμίας «ΣΕΛΙ» το οποίο προσθέσαμε σε πλαστικό falcon των 50 ml. Το δεύτερο δείγμα ετοιμάστηκε προσθέτοντας 0.103 g από τη σκόνη του εμπορικού σκευάσματος Snomax σε 40 ml από το ίδιο σφραγισμένο νερό, το δείγμα αναδεύτηκε καλά στον αναδευτήρα Vortex μέχρις ότου διαλυθεί πλήρως η σκόνη και δεν παρατηρούμε καμία φυσαλίδα. Αποθηκεύσαμε τα δείγματα στο ψυγείο μέχρι να χρησιμοποιήσουμε. Στη συνέχεια διαβρέξαμε την επιφάνεια του δοχείου από αλουμίνιο με ελάχιστη ποσότητα από το παραφινέλαιο και όταν η θερμοκρασία έφτασε την επιθυμητή τιμή τοποθετήσαμε με τη χρήση πιπέτας ακριβείας στο ίδιο αλουμινένιο δοχείο 40 σταγόνες των 20 μL από το δείγμα

αναφοράς και 40 σταγόνες από το δείγμα που εμπεριέχει Snomax, αριστερά και δεξιά στο δοχείο αλουμινίου αντίστοιχα. Έπειτα τοποθετήσαμε το δοχείο στο λουτρό του θερμοστάτη ψύξης και μετρήσαμε τις παγωμένες σταγόνες αλλά και το χρόνο που απαιτήθηκε για τη δημιουργία των κρυστάλλων πάγου στην κάθε περίπτωση. Οι μετρήσεις φαίνονται αναλυτικά στον πίνακα που ακολουθεί.

Πίνακας 2. Μετρήσεις που λήφθηκαν στους -5°C

Χρόνος (min)	Παγωμένες σταγόνες από το δείγμα αναφοράς	Παγωμένες σταγόνες από δείγμα με Snomax
0	0	0
1	0	0
2	0	2
3	0	9
4	0	13
5	0	16
6	0	24
7	0	26
8	0	27
9	0	30
10	1	31
11	1	34
12	1	34
13	3	36
14	3	36
15	3	36
16	3	36
17	3	36
18	3	37
19	3	37
20	4	37
21	4	37
22	5	37
23	5	38
24	6	38
25	7	38
26	7	38
27	8	38
28	8	39
29	8	39
30	8	40

Η ίδια ακριβώς διαδικασία πραγματοποιήθηκε και για τη θερμοκρασία των -8°C . Οι μετρήσεις αποτυπώνονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 3. Μετρήσεις που λήφθηκαν στους -8°C

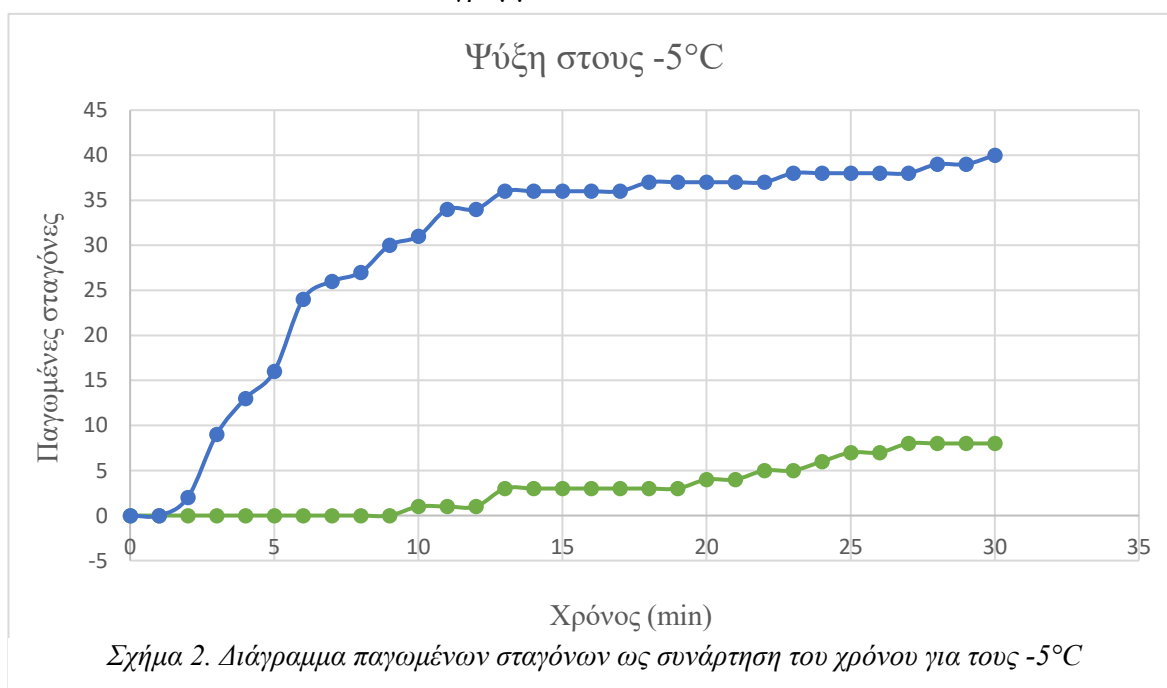
Χρόνος (sec)	Παγωμένες σταγόνες από δείγμα αναφοράς	Παγωμένες σταγόνες από δείγμα με Snomax
0	0	0
4	5	40
8	5	40
12	5	40
16	5	40
20	5	40
24	5	40
28	5	40
32	6	40
36	6	40
40	6	40
44	6	40
48	6	40
52	6	40
56	6	40
60	6	40
64	6	40
68	6	40
72	6	40
76	6	40
80	6	40
84	6	40
88	6	40
92	6	40
96	6	40
100	6	40
104	6	40
108	6	40
112	6	40
116	6	40
120	6	40

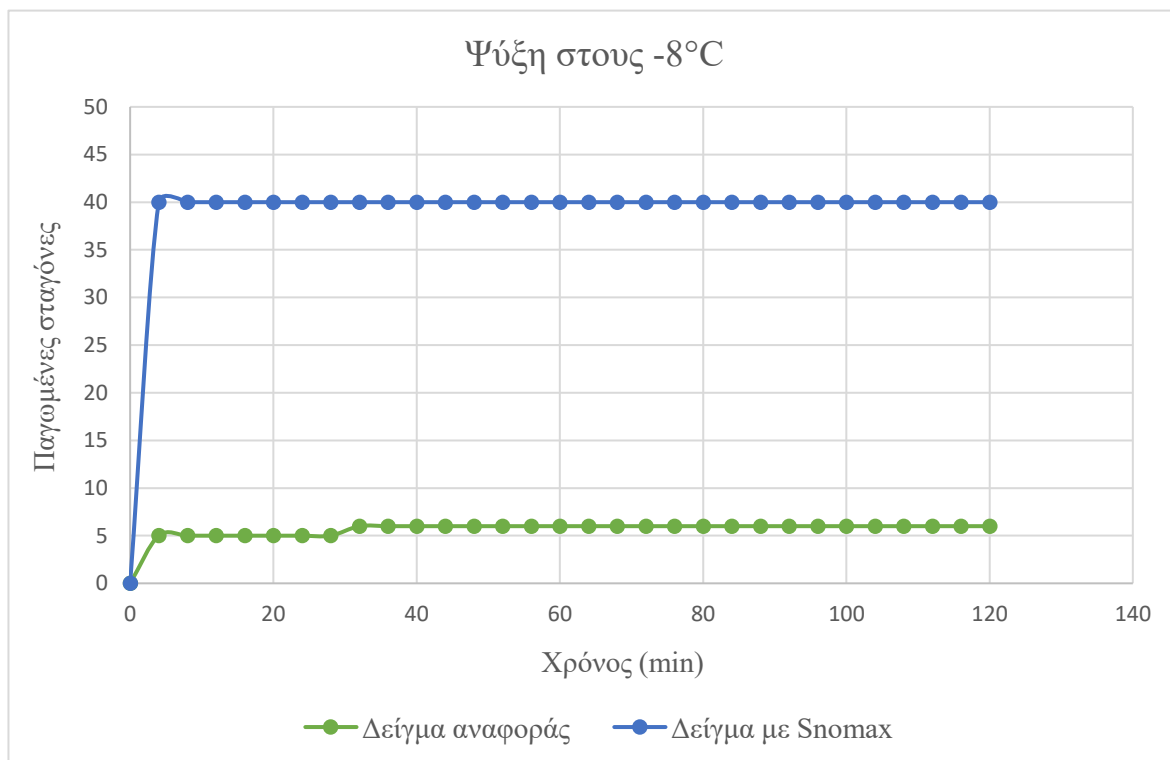


Εικόνα 40. Εικόνες στο τέλος του πειράματος για τους -5°C (αριστερά) και για τους -8°C (δεξιά)

Ανάλυση αποτελεσμάτων

Οι μετρήσεις που λήφθηκαν, για τις δύο διαφορετικές θερμοκρασίες -5°C και -8°C αποτυπώνονται συνοπτικά στα διαγράμματα που ακολουθούν.





Σχήμα 3. Διάγραμμα παγωμένων σταγόνων ως συνάρτηση του χρόνου για τους -8°C

Από τη μελέτη του διαγράμματος ψύξης στους -5°C παρατηρούμε ότι από την αρχή σχεδόν (2 λεπτά) ξεκίνησαν να παγώνουν οι σταγόνες του δείγματος με Snomax, με τις περισσότερες σταγόνες (τουλάχιστον 36) να έχουν παγώσει στα 15 λεπτά. Σε βάθος χρόνου 30 λεπτών είχαν παγώσει και οι 40 σταγόνες, ενώ για τη περίπτωση που δεν χρησιμοποιήσαμε ως πρόσθετο τη πρωτεΐνη χρειάστηκαν 10 λεπτά για να ξεκινήσει να παγώνει η πρώτη σταγόνα και στα 30 λεπτά είχαν παγώσει μόλις 8 σταγόνες νερού. Ενδεχομένως οι σταγόνες αυτές να πάγωσαν εξαιτίας και της απόστασης που απείχαν από τις σταγόνες του δείγματος νερού-πρωτεΐνης. Ήταν δηλαδή πολύ κοντά στις σταγόνες με Snomax και ενδέχεται να επηρεάστηκαν από αυτές, γεγονός που ανήκει στα όρια του τυπικού σφάλματος.

Αντίστοιχα, για τη περίπτωση που η ψύξη έγινε στους -8°C , η δημιουργία κρυστάλλων πάγου ξεκίνησε ταχύτερα λόγω της χαμηλότερης θερμοκρασίας. Από το διάγραμμα φαίνεται ότι για τη πρωτεΐνη Snomax πάγωσαν πολύ γρήγορα μέσα σε 4-5 δευτερόλεπτα όλες οι σταγόνες, ενώ στην περίπτωση των σταγόνων νερού πάγωσαν μόνο 6 από αυτές σε χρονικό διάστημα 2 λεπτών, με 3 από αυτές να είναι αρκετά κοντά στις σταγόνες του άλλου δείγματος.

Είναι φανερό λοιπόν ότι το Snomax όταν προστεθεί στο νερό επιταχύνει την δημιουργία και την ανάπτυξη κρυστάλλων πάγου και συνεπώς μια ταχύτερη παραγωγή χιονιού σε μεγαλύτερη κλίμακα. Για το λόγο αυτό πολλά από τα εμπορικά αυτά σκευάσματα παγοπυρηνωτικών παραγόντων έχουν αξιοποιηθεί ιδιαίτερα σε πολλά χιονοδρομικά κέντρα ανά τον κόσμο.

ΣΥΖΗΤΗΣΗ

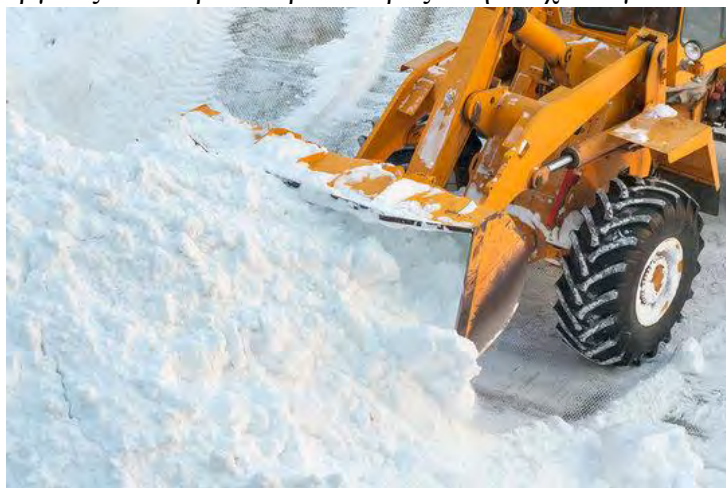
Η χιονοδρομία, η χιονοσανίδα, το έλκηθρο στο χιόνι αποτελούν ψυχαγωγικές και αθλητικές δραστηριότητες που απευθύνονται σε άτομα όλων των ηλικιών. Τα χειμερινά αυτά αθλήματα και δραστηριότητες δεν είναι μόνο μια ευκαιρία για άσκηση και ψυχαγωγία, αλλά και ευκαιρία για κοινωνικοποίηση, επαφή με άτομα διαφορετικής ηλικίας και εθνικότητας, ενισχύοντας έτσι τον δεσμό των ανθρώπων μεταξύ τους αλλά και με την ίδια την φύση. Το συνεχώς αυξανόμενο ενδιαφέρον για τα χειμερινά αθλήματα οδήγησε στην δημιουργία όλο και περισσότερων χιονοδρομικών κέντρων, εξωτερικών χώρων για τη διεξαγωγή των χειμερινών αθλημάτων, με την συνακόλουθη δημιουργία νέων θέσεων εργασίας και ενίσχυση των εσόδων των τοπικών επιχειρήσεων και καταστημάτων που βρίσκονται σε περιοχές κοντά στα χιονοδρομικά κέντρα. Ωστόσο, η απαίτηση για επαρκή χιονοκάλυψη και κατάλληλων καιρικών συνθηκών, σε συνδυασμό με τις επιπτώσεις που επέφερε η κλιματική αλλαγή (περιορισμένες χιονοπτώσεις και γρήγορο λείωσιμο του πάγου, εξαιτίας υψηλών θερμοκρασιών), οδήγησε στην υιοθέτηση νέων τεχνολογιών και ενσωμάτωση μηχανών παραγωγής τεχνητού χιονιού. Στο Πεκίνο, για παράδειγμα, οι ελάχιστες έως καθόλου φυσικές χιονοπτώσεις τον χειμώνα καθιστούν αδύνατη την οποιαδήποτε διεξαγωγή χειμερινών αθλημάτων. Ωστόσο το 2022 διεξήχθησαν οι χειμερινοί Ολυμπιακοί αγώνες με το 100% του χιονιού να είναι τεχνητό, με τη χρήση τριακοσίων σχεδόν κανονιών χιονιού και 83 κανονιών χιονιού τύπου υψηλής πίεσης (λόγγχεων χιονιού).^{92,93} Τα χιονοδρομικά κέντρα της Ιταλίας εξαρτώνται πλέον σε ποσοστό 90% από την τεχνητή χιόνωση, ακολουθεί η Αυστρία με ποσοστό 70%, η Ελβετία με 59%, η Γαλλία με 39% και η Γερμανία με λιγότερο από 25%.⁵²



Εικόνα 41. Απόκομμα της Καθημερινής (11.02.2022) σχετικά με τη διεξαγωγή των χειμερινών Ολυμπιακών αγώνων στο Πεκίνο (<https://www.kathimerini.gr/life/environment/561713791/pekino-2022-olympiakoi-agones-se-100-pseytiko-chioni-eikones/>)

Παρόλα τα θετικά που προσφέρει η αξιοποίηση της τεχνητής χιόνωσης, δεν λείπουν όμως και οι αρνητικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Η υπέρογκη κατανάλωση νερού, η υψηλή κατανάλωση ενέργειας και η επιβάρυνση της ατμόσφαιρας με εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα που επιτείνουν το φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι μερικά σημαντικά προβλήματα που προκαλεί η τεχνητή χιόνωση. Η παραγωγή τεχνητού χιονιού είναι μια διαδικασία που απαιτεί ενέργεια και νερό, επιβαρύνοντας τους φυσικούς πόρους. Κρίνεται επομένως επιτακτική η ανάγκη εύρεσης και αξιοποίησης νέων μεθόδων και ενεργειακά αποδοτικότερων συστημάτων για τον μετριασμό και έλεγχο των περιβαλλοντικών αυτών επιπτώσεων.

Ένας τρόπος αντιστάθμισης της χαμηλής χιονόπτωσης αποτελεί το Snow banking ή συχνά αναφερόμενο και ως «καλλιέργεια χιονιού». Όταν η ποσότητα του χιονιού είναι άφθονη, το χιόνι στοιβάζεται και καλύπτεται με πριονίδι ώστε να διατηρηθεί και να μην λιώσει. Το γεγονός αυτό μειώνει την διαρκή ανάγκη χρήσης μηχανών για την παραγωγή τεχνητού χιονιού και συνεπώς ενέργειας και νερού. Πρωτοπόρος στην τεχνολογία αυτή αποτελεί η Φινλανδία, με το θέρετρο Λέβι στα βόρεια της χώρας να διεξάγει αγώνες χιονοδρομίας ανεξαρτήτως των καιρικών συνθηκών που επικρατούν.⁷² Ωστόσο υπάρχουν ανησυχίες και σε αυτή τη περίπτωση σχετικά με τις εκπομπές των μηχανών που χρησιμοποιούνται για τη συλλογή του χιονιού σε στοίβες, καθώς και πως τα οικοσυστήματα, το έδαφος και οι φυτικοί οργανισμοί επηρεάζονται κάτω από τους σωρούς αυτούς.⁵²



Εικόνα 42. Συλλογή χιονιού – Snow banking

(https://encrypted-tbn3.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcQjZRU0OcJdFpaCxxk8_F4aDIA_Liu7TlomjScbZWF64bMj8pTo)

Μια εξαιρετικά αποδοτική λύση φαίνεται να αποτελεί η αξιοποίηση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, ήπιων δηλαδή μορφών ενέργειας όπως η ηλιακή, η αιολική, η γεωθερμική ή η ενέργεια από το νερό. Οι μορφές αυτές ενέργειας είναι φιλικές προς το περιβάλλον καθώς δεν απελευθερώνουν διοξείδιο του άνθρακα, υδρογονάνθρακες, τοξικά ή ραδιενεργά απόβλητα, ενώ δεν χρειάζεται κάποια εξόρυξη ή καύση όπως στην περίπτωση των ορυκτών καυσίμων. Με τον τρόπο αυτό δύναται επομένως να μειωθεί ή ακόμη και να αποφευχθεί η εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου που απελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα και τη ρυπαίνουν. Πρόκειται στην ουσία για μορφές της ενέργειας που εκμεταλλεύονται τη ροή



Εικόνα 43. Εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων και ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στα χιονοδρομικά κέντρα

(<https://posts.snowreport.gr/wp-content/uploads/solar-snow.jpeg>)

της ενέργειας στη φύση, συγκεκριμένα της ηλικιακής ακτινοβολίας αν εξαιρέσουμε την γεωθερμική ενέργεια που αξιοποιεί τη ροή ενέργειας στο εσωτερικό της Γης. Ένα παράδειγμα καλής εφαρμογής των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας αποτελεί η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων στα χιονοδρομικά κέντρα για την αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας προκειμένου να καλυφθούν οι ανάγκες, να εξοικονομηθεί ενέργεια. Με σκοπό να μειωθεί το κόστος κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας η εταιρεία ΟΡΕΙΝΟΣ ΤΟΥΡΙΣΜΟΣ Α.Ε. προβλέπει την εγκατάσταση ενός φωτοβολταϊκού net metering 10.8 Kw στο χιονοδρομικό κέντρο του Ανηλίου, μιας μεθόδου συνδυασμού και παροχής ενέργειας από φωτοβολταϊκά και άλλες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Το σύστημα αυτό δύναται να καλύψει μεγάλο μέρος των ενεργειακών απαιτήσεων του μηχανολογικού εξοπλισμού των πιστών του χιονοδρομικού κέντρου.⁷¹

Άλλες εναλλακτικές λύσεις για την εξοικονόμηση της ενέργειας θα μπορούσαν να αποτελούν η μείωση των αναβατήρων που λειτουργούν καθώς και η ταχύτητα τους, η κατάργηση των νυχτερινών χιονοδρομιών, αλλά και ο περιορισμός των οχημάτων στρώσεως των πιστών.

Εκτός αυτού, επιτακτική κρίνεται και η εξοικονόμηση νερού και μείωση της κατανάλωσης του. Είναι σημαντικό να ελέγχονται και να παρακολουθούνται διαρκώς τα επίπεδα υγρασίας, οι θερμοκρασίες που επικρατούν, αλλά και η κατεύθυνση του αέρα, προκειμένου να βελτιστοποιηθεί η λειτουργία των κανονιών χιονιού και να έχουμε την μετατροπή του νερού σε χιόνι ελαχιστοποιώντας τις απώλειες από εξάτμιση ή τυχών διαρροή. Επίσης με τη προσθήκη των πρόσθετων νερού επιτυγχάνεται από 20% έως 80% περισσότερη ποσότητα παραγόμενου χιονιού με τη χρήση ίδιου όγκου νερού αλλά λιγότερου αέρα.⁷³ Μια εξαιρετική εναλλακτική θα μπορούσε να αποτελεί επίσης η χρήση ανακυκλωμένου νερού για τη παραγωγή τεχνητού χιονιού. Το Τμήμα Περιβαλλοντικής Ποιότητας της Μοντάνα (DEQ) ενέκρινε, το έτος 2021, άδεια για το Yellowstone Club (τουριστικό θέρετρο χιονοδρομίας που βρίσκεται στην κομητεία Madison, δυτικά του Big Sky, στη Μοντάνα) να χρησιμοποιεί ανακυκλωμένο νερό με σκοπό την αύξηση του βασικού στρώματος χιονιού στο βουνό Eglise. Το 80% του ανακυκλωμένου νερού προέρχεται από την ευρύτερη κοινότητα του Big Sky και το υπόλοιπο 20% από το Yellowstone Club. Υπάρχουν μέχρι στιγμής τουλάχιστον 12 χιονοδρομικά κέντρα σε οκτώ πολιτείες που χρησιμοποιούν ανακυκλωμένο νερό για την παραγωγή χιονιού στον Καναδά, την Ελβετία και την Αυστραλία.⁷⁴

Τέλος, όσο οι θερμοκρασίες και παράλληλα οι απαιτήσεις για τεχνητό χιόνι αυξάνονται, δοκιμάζονται νέες τεχνικές σχηματισμού τεχνητού χιονιού, πιο αποδοτικές, λιγότερο απαιτητικές όσον αφορά τους φυσικούς πόρους, καθώς δύναται να παράγουν χιόνι σε υψηλότερες θερμοκρασίες. Ο Albert Verdaguer διαπίστωσε μερικά χρόνια πριν ότι ένα άφθονο ορυκτό, οι άστριοι, που αποτελούν το 60% του φλοιού της Γης οδηγούν στη ταχύτερη ψύξη των σταγονιδίων νερού σε θερμοκρασίες κοντά στους 0°C. Στο γεγονός αυτό βασίστηκε το Ινστιτούτο Επιστήμης Υλικών της Βαρκελώνης (ICMAB-CSIC) για να αναπτύξει μια τεχνική που ονομάστηκε «Snow Laboratory» και πρόκειται να εφαρμοστεί μέσα στα επόμενα τρία χρόνια, προσθέτοντας ουσιαστικά το ορυκτό αυτό στο νερό που χρησιμοποιείται στα κανόνια χιονιού. Η τεχνική αυτή φαίνεται να μειώνει περίπου 30% το ενεργειακό κόστος, βελτιώνοντας επίσης την αναλογία μετατροπής του νερού που εξέρχεται από τα κανόνια χιονιού σε σχέση με το νερό που εισέρχεται.⁹⁴

Συμπερασματικά λοιπόν τα χιονοδρομικά κέντρα με την υιοθέτηση και την σωστή εφαρμογή μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας και φυσικών πόρων, όπως το νερό, μπορούν να μειώσουν τις επιβλαβείς για το περιβάλλον επιπτώσεις. Ο επισκέπτης και σκιέρ μπορεί πλέον να απολαύσει την αγαπημένη του δραστηριότητα και την ομορφιά των χιονισμένων πλαγιών, ενώ ταυτόχρονα τα χιονοδρομικά κέντρα λειτουργούν με μεγαλύτερη βιωσιμότητα προστατεύοντας με τον τρόπο αυτό το περιβάλλον.



Εικόνα 44. Yellowstone Club, στη Μοντάνα

(https://flyxo.com/_next/image/?url=https%3A%2F%2Fwebsite-cdn.flyxo.com%2Fdata%2Fwebapi%2FPic_5cb6d1a586.jpg&w=3840&q=75)

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- 1) A. Corsini, G. D., F. Sciulli, DESIGN OF NEXT GENERATION SNOW GUN FANS. In Proceedings of 11th European Conference on Turbomachinery Fluid dynamics & Thermodynamics, Madrid, Spain, 2015.
- 2) ANDREWS, C. J., How Do Plants Survive Ice ? BOTANICAL BRIEFING 1996.
- 3) BRUN, J. W. P. A. E., Physical Properties of Snow. Environmental Science 2010.
- 4) Callaghan, T. V.; Johansson, M.; Brown, R. D.; Groisman, P. Y.; Labba, N.; Radionov, V.; Bradley, R. S.; Blangy, S.; Bulygina, O. N.; Christensen, T. R.; Colman, J. E.; Essery, R. L. H.; Forbes, B. C.; Forchhammer, M. C.; Golubev, V. N.; Honrath, R. E.; Juday, G. P.; Meshcherskaya, A. V.; Phoenix, G. K.; Pomeroy, J.; Rautio, A.; Robinson, D. A.; Schmidt, N. M.; Serreze, M. C.; Shevchenko, V. P.; Shiklomanov, A. I.; Shmakin, A. B.; Sköld, P.; Sturm, M.; Woo, M.-k.; Wood, E. F., Multiple Effects of Changes in Arctic Snow Cover. *Ambio* 2012, 40 (S1), 32-45.
- 5) CERNUSCA, C. N. u. A., Auswirkungen der künstlichen Beschneigung von Schipisten auf die Umwelt. Bayer. Akad.f. Naturschutz u. Landschaftspflege 1999, 239.
- 6) D. J. G. Ives, D. S., A.R.C.S., F.R.I.C. and T. H. Lemon, B.Sc., M.Phil. , Structure and properties of water. Royal Institute of Chemistry, Reviews 1968, 1.
- 7) Lagriffoul, A.; Boudenne, J. L.; Absi, R.; Ballet, J. J.; Berjeaud, J. M.; Chevalier, S.; Creppy, E. E.; Gilli, E.; Gadonna, J. P.; Gadonna-Widehem, P.; Morris, C. E.; Zini, S., Bacterial-based additives for the production of artificial snow: what are the risks to human health? *The Science of the total environment* 2010, 408 (7), 1659-66.
- 8) Lukas, M.; Schwidetzky, R.; Eufemio, R. J.; Bonn, M.; Meister, K., Toward Understanding Bacterial Ice Nucleation. *The journal of physical chemistry. B* 2022, 126 (9), 1861-1867
- 9) Lukas, M.; Schwidetzky, R.; Eufemio, R. J.; Bonn, M.; Meister, K., Toward Understanding Bacterial Ice Nucleation. *The journal of physical chemistry. B* 2022, 126 (9), 1861-1867.
- 10) Martin Burtcher, P. A. F., Werner Nachbauer and Martin Kopp, Potential Health Benefits From Downhill Skiing. *Frontiers in Physiology* 2019.
- 11) Masoud Farzaneh, I. F., H. Hemmatjou, Electrical properties of snow. *ResearchGate* 2004.
- 12) N Cochet, P. g.-w., Ice Crystallization by *Pseudomonas syringae*. *PubMed Applied Microbiology and Biotechnology* 2000.
- 13) Rixen, C.; Haeberli, W.; Stoeckli, V., Ground Temperatures under Ski Pistes with Artificial and Natural Snow. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research* 2018, 36 (4), 419-427.
- 14) Rixen, C.; Stoeckli, V.; Ammann, W., Does artificial snow production affect soil and vegetation of ski pistes? A review. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics* 2003, 5 (4), 219-230.
- 15) Trædal, S. Temperature independent snow production; 2017.
- 16) Veronika Stockli, C. R., Characteristics of Artificial Snow and its Effect on Vegetation. 2000.
- 17) Warren, S. G., Optical properties of ice and snow. *Philosophical transactions. Series A, Mathematical, physical, and engineering sciences* 2019, 377 (2146), 20180161.
- 18) Widehem, P.; Cochet, N., *Pseudomonas syringae* as an ice nucleator—application to freeze-concentration. *Process Biochemistry* 2003, 39 (4), 405-410.

- 19) Wolber, P. K., Bacterial ice nucleation. *Advances in microbial physiology* 1993, 34, 203-37.

ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- 20) <https://www.usgs.gov/media/images/distribution-water-and-above-earth>
21) <https://microbenotes.com/water/>
22) <https://biodynamizer.com/en/water/molecular-composition-of-water-chemical-structure%E2%80%8B/>
23) <https://www.sciencelearn.org.nz/images/658-water-in-its-three-states-of-matter>
24) <https://earthhow.com/states-of-water/>
25) <https://www.metoffice.gov.uk/weather/learn-about/weather/types-of-weather/snow/how-does-snow-form>
26) <https://www.britannica.com/science/snow-weather>
27) <https://www.meteoswiss.admin.ch/weather/weather-and-climate-from-a-to-z/snow.html>
28) <https://www.oceanclock.com/en/blog/40-how-does-snow-form>
29) <https://calteches.library.caltech.edu/4018/1/Snow.pdf>
30) <https://sciencenotes.org/snowflake-shapes/>
31) <https://www.ontarioparks.ca/parksblog/the-science-of-snow/>
32) <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=786ec0eaa1163f500317c3dce2bd5b73d389ffbd>
33) https://www.esa.int/SPECIALS/Eduspace_Global_GR/SEMZ5DWWVUG_0.html
34) <https://www.intrepidtravel.com/en/greece/does-it-snow-in-greece>
35) <https://www.snowreport.gr/snowreporten.html>
36) <https://www.snow-forecast.com/maps/static/greece/full>
37) <https://greekcitytimes.com/2024/01/25/weather-greece-covered-snow-meteo/>
38) <https://www.encyclopedia.com/manufacturing/news-wires-white-papers-and-books/artificial-snow>
39) <https://www.snowtrex.co.uk/magazine/sustainability/artificial-snow/>
40) <https://cosmosmagazine.com/technology/how-does-snow-machine-work/>
41) <https://www.snowplaza.co.uk/blog/52134-natural-snow-vs-artificial-snow/>
42) <https://www.technoalpin.com/en/about-us/snowmaking-faqs/>
43) <https://sciencenotes.org/cloud-seeding-what-it-is-and-whether-it-works/>
44) <https://www.gtp.gr/LocInfo.asp?infoId=139&IncludeWide=0&PrimeCode=EGR&PrimeLevel=2&LocId=69&lng=1>
45) <https://www.snowreport.gr/posts/408.html>
46) <https://www.youtube.com/watch?v=eT6FiChypMc>
47) <https://www.ertnews.gr/roi-idiseon/texniti-xionosi-sto-xionodromiko-kentro-seliou/>
48) https://www.chemistryviews.org/details/ezone/8935791/Faking_It_The_Science_of_Artificial_Snow/
49) <https://www.snomax.com/product/effects.html>
50) <https://www.travel.gr/best-of/d-ta-17-chionodromika-kentra-tis-elladas-t/>
51) <https://parnassos-ski.gr/genikes-plirofories/chionodromiko-kentro-parnassoy/pistes/>
52) <https://www.euronews.com/green/2024/04/03/snowball-effect-is-artificial-snow-a-long-term-solution-for-ski-resorts-in-a-warming-world>
53) <https://www.linkedin.com/pulse/environmental-impact-use-artificial-snow-roadfill-limited>

- 54) <https://www.acs.org/education/resources/highschool/chemmatters/past-issues/2018-2019/december-2018/artificial-snow-a-slippery-slope.html>
- 55) <https://www.azocleantech.com/news.aspx?newsID=33519>
- 56) https://www.bachler.ch/media/archive1/produkte/NESSy_Energy_usage_for_snowmaking_EN.pdf
- 57) <https://world-nuclear.org/information-library/energy-and-the-environment/carbon-dioxide-emissions-from-electricity/>
- 58) <https://www.businessinsider.com/beijing-olympics-artificial-snow-costs-days-drinking-water-900-million-2022-2>
- 59) <https://www.noaa.gov/education/resource-collections/freshwater/water-cycle>
- 60) <https://gpm.nasa.gov/education/water-cycle>
- 61) <https://www.britannica.com/science/water-cycle>
- 62) <https://www.britannica.com/science/water/Physical-properties>
- 63) https://bio.libretexts.org/Bookshelves/Introductory_and_General_Biology/Map:_Raven_Biology_12th_Edition/02:_The_Nature_of_Molecules_and_the_Properties_of_Water/2.05:_Properties_of_Water
- 64) https://kaimaktsalan.gr/?page_id=44
- 65) <https://www.aftodioikisi.gr/koinonia/dite-neotero-chionodromiko-kentro-tis-elladas-foto/>
- 66) <https://www.snowreport.gr/pilio/>
- 67) <https://www.terramag.gr/7-chimerina-sports-pou-anevazoun-tin-adrenalini-sta-ipsi/>
- 68) <https://www.columbia.com/benefits-of-skiing-and-snowboarding.html>
- 69) <https://cwsaa.org/economic-impact-of-ski-areas/>
- 70) <https://www.tanea.gr/2024/01/07/economy/economy-greece/o-ilios-lionei-ta-esodaton-xionodromikon-kentron/>
- 71) https://www.travel.gr/how_to_travel/travel-news/prasino-fos-gia-2-megales-ependyseis-st/
- 72) <https://www.newmoney.gr/roh/palmos-oikonomias/energeia/to-kolpo-gia-na-minoun-anichta-ta-chionodromika-pou-xeminan-apo-chioni/>
- 73) <https://www.des.nh.gov/sites/g/files/ehbemt341/files/documents/2020-01/dwgb-26-11.pdf>
- 74) https://snowbrains.com/montanas-first-recycled-snowmaking-effort-launches-at-exclusive-yellowstone-club/#google_vignette
- 75) <https://gr.snow-forecast.com/resorts/Mt-Voras-Kaimaktsalan/pistemap>
- 76) <https://www.gtp.gr/TDirectoryDetails.asp?id=751&lng=1>
- 77) <https://www.aniliopark.gr/anilio-park-map/>
- 78) <https://gr.snow-forecast.com/resorts/Karpenisi/pistemap>
- 79) <https://seli-ski.gr/%CF%87%CE%B1%CF%81%CF%84%CE%B7%CF%83-%CF%80%CE%B9%CF%83%CF%84%CF%89%CE%BD/>
- 80) <https://www.ski.gr/skicenters/3-5pigadia/slopemap>
- 81) <https://www.gtp.gr/TDirectoryDetails.asp?id=38043&lng=1>
- 82) <https://xionodromika.gr/ski-centers/xionodromiko-kentro-falakrou/>
- 83) <https://xionodromika.gr/ski-centers/xionodromiko-kentro-elatochoriou/>
- 84) <https://www.gtp.gr/TDirectoryDetails.asp?id=46188&lng=1>
- 85) <https://gr.snow-forecast.com/resorts/Vasilitsa/pistemap>
- 86) <https://xionodromika.gr/ski-centers/xionodromiko-kentro-pertouli/>
- 87) https://www.snowreport.gr/pisoderi/#google_vignette
- 88) <https://mainaloski.gr/index.php?id=10>

- 89) <https://www.usgs.gov/special-topics/water-science-school/science/sublimation-and-water-cycle#:~:text=The%20air%20is%20so%20dry,disappear%20in%20the%20arid%20West.%22>
- 90) <https://www.meteorologiaenred.com/el/%CF%80%CF%85%CE%BA%CE%BD%CF%8C%CF%84%CE%B7%CF%84%CE%B1-%CE%B5%CF%80%CE%B9%CF%80%CE%AD%CE%B4%CE%BF%CF%85.html>
- 91) <https://thesis.ekt.gr/thesisBookReader/id/1623?lang=el#page/34/mode/2up>
- 92) <https://time.com/6146039/artificial-snow-2022-olympics-beijing/>
- 93) <https://www.kathimerini.gr/life/environment/561713791/pekino-2022-olympiakoi-agonese-100-pseytiko-chioni-eikones/>
- 94) https://www.komu.com/news/nationworld/new-new-artificial-snowmaking-technology-could-offer-a-lifeline-to-struggling-ski-resorts/article_c044d571-b3cc-5184-8400-89539534cbe8.html

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1:

https://encrypted-tbn1.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcRXawRZEnWeBMl9sIlThPmg1Sc99KsVMf8g9gYHW_3zcRaklbjJ

Εικόνα 2:

https://encrypted-tbn3.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcQomMjTbrS8os1D9dIZsKWHEbuvMzy_mIFs_kpBXwVDLWfN0pd

Εικόνα 3:

<https://myschlab.com/wp-content/uploads/2021/10/statesofmatter-1024x771.png.webp>

Εικόνα 4:

https://www.noaa.gov/media/image_download/72476931-c7f9-4606-a1d8-61f4703d806e

Εικόνα 5:

<https://encrypted-tbn3.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcTdeROgNHDmuNqjQYkQs6d9r9l4KEtnu8bADTBfNByxqRK-IXPI>

Εικόνα 6:

<https://deerparklodge.typepad.com/.a/6a00d8345568db69e20163003c9841970d-800wi>

Εικόνα 7:

<https://sciencenotes.org/snowflake-shapes/>

Εικόνα 8:

<https://greekcitytimes.com/2024/01/25/weather-greece-covered-snow-meteo/>

Εικόνα 9:

<https://b4experience.com/wp-content/uploads/2023/02/ski-noruega-velero-1030x687.jpg>

Εικόνα 10:

https://live.staticflickr.com/753/33051601730_9d5ef05a5b_b.jpg

Εικόνα 11:

<https://parnassos-ski.gr/wp-content/uploads/2022/01/parnass3.jpg>

Εικόνα 12:

https://www.kaimaktsalan-voras.com/slider/283/slider_image.jpg

Εικόνα 13:

https://tbnewsmedia.blob.core.windows.net/media/thessaliaeconomy/Default/_Profiles/fd49780c/1c8dc851/xionodromiko%20piloy.jpg?v=638458224760000000

Εικόνα 14:

<https://happytraveller.gr/wp-content/uploads/2020/01/Xionodromiko-Kentro-Aniliou-Metsovou-Greece-Happy-Traveller-2.jpg>

https://anilio-metsovou.weebly.com/uploads/1/0/6/7/10671949/5411469_orig.jpg

Εικόνα 15:

https://cdn.prod.website-files.com/5ecc494476c6a82d2cac1f25/5ffe17aa0ee044123daa7dc3_Snowboarding.jpg

Εικόνα 16:

<https://www.skicanada.org/wp-content/uploads/2022/03/Health-Ski.jpg>

Εικόνα 17:

<https://d3.harvard.edu/platform-rctom/submission/ski-resorts-melting-away/>

Εικόνα 18:

<https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.jpcb.1c09342>

Εικόνα 19:

<https://images.fineartamerica.com/images-medium-large-5/7-pseudomonas-syringae-dennis-kunkel-microscopyscience-photo-library.jpg>

Εικόνα 20:

<https://www.toppteknik.se/uploads/products/snowmax.jpg>

Εικόνα 21:

<https://scitechdaily.com/images/Making-Artificial-Snow.jpg>

Εικόνα 22:

<https://www.foxweather.com/learn/the-panicked-and-accidental-beginnings-of-snowmaking>

Εικόνα 23:

https://link.springer.com/referenceworkentry/10.1007/978-90-481-2642-2_29/figures/148

Εικόνα 24:

<https://preview.redd.it/bzho83nnp6i81.jpg?width=640&crop=smart&auto=webp&s=12a5d5a3f8d7963e0a1885bfd9388080890a7d94>

Εικόνα 25:

https://www.xmas-passion.com/tienda/7723-thickbox_default/tr10-snow-cannon.jpg

Εικόνα 26:

<https://cosmosmagazine.com/technology/how-does-snow-machine-work/>

Εικόνα 27:

[https://atlascope.scene7.com/is/image/atlascope/Atlas+Copco+SNOW-LE+compressor+for+snowmaker?\\$landscape600\\$](https://atlascope.scene7.com/is/image/atlascope/Atlas+Copco+SNOW-LE+compressor+for+snowmaker?$landscape600$)

[https://atlascope.scene7.com/is/image/atlascope/Ski_Snow_Making?\\$landscape600\\$](https://atlascope.scene7.com/is/image/atlascope/Ski_Snow_Making?$landscape600$)

Εικόνα 28:

https://live.staticflickr.com/8751/17015117751_f88874cd4e_b.jpg

Εικόνα 29:

<https://sciencenotes.org/wp-content/uploads/2024/04/Cloud-Seeding-1024x683.png>

Εικόνα 30:

<https://hotel-lingos.gr/wp-content/uploads/2015/12/bigla-pisoderi.jpg>

Εικόνα 31:

<https://www.gtp.gr/LocInfo.asp?infoId=139&IncludeWide=0&PrimeCode=EGR&PrimeLevel=2&LocId=69&lng=1>

Εικόνα 32:

https://www.rouga.gr/slider/72/slider_image.jpg

Εικόνα 33:

https://www.in.gr/wp-content/uploads/2019/12/vermio.seli_.chionodromiko.artemis.pista_.jpg

Εικόνα 34:

https://images.newscientist.com/wp-content/uploads/2022/12/13115826/SEI_136757586.jpg

Εικόνα 35:

<https://insideclimatenews.org/wp-content/uploads/2015/12/CoalEuropeReuters.jpg>

Εικόνα 36:

<https://ermisnews.gr/wp-content/uploads/2020/07/nero9841.png>

Εικόνα 37 – 40: εικόνες που λήφθηκαν από το εργαστήριο

Εικόνα 41:

https://encrypted-tbn3.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcQjZRU0OcJdFpaCxxk8_F4aDIA_Liu7T1omjScbZWF64bMj8pTo

Εικόνα 42:

<https://www.kathimerini.gr/life/environment/561713791/pekino-2022-olympiakoi-agones-se-100-pseytiko-chioni-eikones/>

Εικόνα 43:

<https://posts.snowreport.gr/wp-content/uploads/solar-snow.jpeg>

Εικόνα 44:

https://flyxo.com/_next/image/?url=https%3A%2F%2Fwebsite-cdn.flyxo.com%2Fdata%2Fwebapi%2FPic_5cb6d1a586.jpg&w=3840&q=75