



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ  
ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΤΡΟΦΙΜΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΟΙΝΟΥ, ΑΜΠΕΛΟΥ ΚΑΙ ΠΟΤΩΝ**

## **ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

### **ΟΙ ΣΥΝΕΠΕΙΕΣ ΤΗΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ ΣΤΗΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΣΤΑΦΥΛΙΩΝ**



**ΦΛΕΣΣΟΥΡΑ ΕΙΡΗΝΗ  
ΑΜ: 13213**

**Επιβλέπων: ΚΟΡΚΑΣ ΗΛΙΑΣ**

ΑΘΗΝΑ, 2021

## Διασαφήσεις εξεταστικής επιτροπής

Οι υπογράφωντες δηλώνουμε ότι έχουμε εξετάσει τη διπλωματική εργασία με τίτλο «**Οι συνέπειες της κλιματικής αλλαγής στην ποιότητα των σταφυλιών**» που παρουσιάστηκε από την **ΦΛΕΣΣΟΥΡΑ ΕΙΡΗΝΗ** και βεβαιώνουμε ότι γίνεται δεκτή.

<b>Ψηφιακή Υπογραφή Επιβλέποντα Καθηγητή (1<sup>ο</sup> Μέλους Επιτροπής)</b>	
<b>Ψηφιακή Υπογραφή Καθηγητή (2<sup>ο</sup> Μέλους Επιτροπής)</b>	
<b>Ψηφιακή Υπογραφή Καθηγητή (3<sup>ο</sup> Μέλους Επιτροπής)</b>	

## ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η κάτωθι υπογεγραμμένη Φλέσσουρα Ειρήνη του Θεοδώρου, με αριθμό μητρώου 13213 φοιτήτρια του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Επιστημών Τροφίμων του Τμήματος Οίνου, Αμπέλου & Ποτών, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της πτυχιακής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

**Ονοματεπώνυμο & Υπογραφή Συγγραφέα Πτυχιακής Εργασίας**

.....  
ΕΙΡΗΝΗ ΦΛΕΣΣΟΥΡΑ

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το αμπέλι, μία ευρέως διαδεδομένη καλλιέργεια σε πολλές περιοχές του πλανήτη, έχει επηρεαστεί από την αλλαγή του κλίματος. Για τη βέλτιστη ανάπτυξη του φυτού και για την παραγωγή ποιοτικών σταφυλιών απαιτούνται καθορισμένες κλιματολογικές συνθήκες. Σήμερα, έχουν δημιουργηθεί βιοκλιματικοί δείκτες και κλιματικά μοντέλα που προσπαθούν να προβλέψουν το μέλλον της αμπελοκαλλιέργειας και του σταφυλιού. Η κλιματική αλλαγή είναι ένα φαινόμενο το οποίο βρίσκεται σήμερα σε εξέλιξη. Η επιστημονική κοινότητα το παρατηρεί εδώ και αρκετές δεκαετίες και κρούει κατά επανάληψη τον κώδωνα του κινδύνου για τις δυσμενείς συνέπειες που μπορεί να επιφέρει στη βιωσιμότητα του περιβάλλοντος και στην ποιότητα ζωής των ανθρώπων. Η άνοδος της μέσης θερμοκρασίας της γης, η συρρίκνωση του όγκου των παγετώνων, η άνοδος της στάθμης της θάλασσας, τα ακραία καιρικά φαινόμενα που αυξάνονται σε ένταση και συχνότητα αποτελούν την απόδειξη της κλιματικής αλλαγής. Η αυξημένη θερμοκρασία, το διοξείδιο του άνθρακα της ατμόσφαιρας, η ακτινοβολία, η έλλειψη νερού επηρεάζουν τα στάδια της φαινολογικής ανάπτυξης του φυτού και την παραγωγή των πρωτογενών και δευτερογενών μεταβολιτών του σταφυλιού. Έτσι παράγονται σταφύλια με υψηλή σακχαροπεριεκτικότητα και χαμηλή οξύτητα, ενώ επίσης επηρεάζεται το pH, η συγκέντρωση των ανθοκυανινών, των αρωματικών ενώσεων και των φαινολικών συστατικών.

**Λέξεις κλειδιά:** βιοκλιματικοί δείκτες, κλιματικά μοντέλα, κλιματική αλλαγή, κλιματικές επιδράσεις, ποιότητα κρασιού, σταφύλι

## ABSTRACT

The vine, a widespread crop in many parts of the world, has been affected by climate change. Certain soil and climatic conditions are required for the optimal growth of the plant and for the production of quality fruit. Today, bioclimatic indicators and climate models have been created that try to predict the future of viticulture and grapes. Climate change is a phenomenon that is happening nowadays. The scientific community has been observing this for several decades and has repeatedly sounded the alarm about the adverse effects it can have on the sustainability of the environment and the quality of human life. The rise of the average temperature of the earth, the shrinkage of the volume of glaciers, the rise of the sea level, the extreme phenomena that increase in intensity and frequency are the proof of climate change. Rising temperatures, atmospheric carbon dioxide, radiation, lack of water, affect the stages of phenological development of the plant and the production of primary and secondary metabolites of grapes. This produces grapes with high sugar content and low acidity, while affecting the pH, the concentration/ amount of anthocyanins, aromatic compounds, phenolic components.

**Keywords:** bioclimatic indicators, climate change, climatic consequences, climate models, grapes, wine quality

## **Αφιέρωση**

Η αφιέρωση της συγκεκριμένης Πτυχιακής Εργασίας στον σύζυγο μου Γιώργο είναι το ελάχιστο ευχαριστώ απέναντι στην ανιδιοτελή του υποστήριξη καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

## Ευχαριστίες

Η εκπόνηση της συγκεκριμένης Πτυχιακής Εργασίας δε θα ήταν δυνατή χωρίς την καθοδήγηση και το ενδιαφέρον του Καθηγητή του Τμήματος Επιστημών Οίνου, Αμπέλου & Ποτών κ. Ηλία Κόρκα. Τον ευχαριστώ εκ βάθους για τη συνεχή κατεύθυνση των βημάτων μου και την αμέριστη προσφορά του στην προσπάθεια μου αυτή. Ένα μεγάλο ευχαριστώ χρωστώ και στην φίλη, συνάδελφο και υποψήφια διδάκτορα του Γεωπονικού Πανεπιστημίου, Ευσταθία Λαζαρίδη για την συνεχή υποστήριξη της.

## Πίνακας περιεχομένων

<b>ΠΕΡΙΛΗΨΗ</b> .....	<b>i</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>i</b>
<b>Αφιέρωση</b> .....	<b>ii</b>
<b>Ευχαριστίες</b> .....	<b>iii</b>
<b>Κατάλογος Πινάκων</b> .....	<b>v</b>
<b>Κατάλογος Σχημάτων</b> .....	<b>vi</b>
<b>1 Εισαγωγή</b> .....	<b>1</b>
<b>2 Κλίμα και αμπέλι</b> .....	<b>3</b>
2.1 Κλιματικοί παράγοντες που επηρεάζουν την καλλιέργεια της αμπέλου.....	3
2.2 Βέλτιστες κλιματικές συνθήκες για την καλλιέργεια του αμπελιού .....	4
2.3 Μοντέλα ποιότητας του σταφυλιού.....	5
2.4 Βιοκλιματικοί δείκτες.....	6
<b>3 Κλιματική αλλαγή</b> .....	<b>10</b>
3.1 Φαινόμενα που αποδεικνύουν την κλιματική αλλαγή.....	11
3.1.1 Άνοδος της μέσης θερμοκρασίας της γης.....	11
3.1.2 Συρρίκνωση του όγκου των παγετώνων.....	12
3.1.3 Μείωση της ποσότητας χιονιού του βόρειου ημισφαιρίου .....	14
3.1.4 Άνοδος της στάθμης της θάλασσας.....	14
3.1.5 Ακραία καιρικά φαινόμενα.....	15
3.2 Κλιματικά μοντέλα πρόβλεψης .....	17
<b>4 Κλιματική αλλαγή και ποιότητα σταφυλιών</b> .....	<b>20</b>
4.1 Εισαγωγικά στοιχεία.....	20
4.2 Ημερομηνία συγκομιδής.....	22
4.3 Ωρίμανση σταφυλιών .....	23
4.3.1 Επίδραση της θερμοκρασίας .....	23
4.3.2 Επίδραση του διοξειδίου του άνθρακα .....	29
4.3.3 Επίδραση της ακτινοβολίας.....	31
4.3.4 Επίδραση της ξηρασίας .....	32
4.3.5 Έμμεσες επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στο σταφύλι .....	34
4.4 Επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στο ελληνικό σταφύλι.....	36
<b>5 Συμπεράσματα</b> .....	<b>38</b>
<b>6 Βιβλιογραφία</b> .....	<b>39</b>
6.1 Ελληνική Βιβλιογραφία.....	39
6.2 Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία .....	39
6.3 Διαδικτυακές πηγές .....	42

## **Κατάλογος Πινάκων**

Πίνακας 1. Παραδείγματα συντελεστή  $K$  του δείκτη Huglin ανάλογα με το γεωγραφικό πλάτος

Πίνακας 2. Υπολογισμός ορισμένων βιοκλιματικών δεικτών

Πίνακας 3. Κλιματικά μοντέλα που επιλέχθηκαν από τους Webb et al. (2008)

## Κατάλογος Σχημάτων

- Διάγραμμα 1. Οι μέσες τιμές τις θερμοκρασίας του βορείου και νότιου ημισφαιρίου της γης καθώς και του πλανήτη από το 1860 -2019
- Διάγραμμα 2. Πτώση σε κυβικά μίλια στον όγκο των κυβικών μιλίων στον παγετώνα παγκοσμίως κατά τη χρονική περίοδο 1960- 2005
- Διάγραμμα 3. Μέσος όρος μηνιαίας διακύμανσης κάλυψης χιονιού σε περιοχές του Βόρειου Ημισφαιρίου, συμπεριλαμβανομένης και της Γροιλανδίας για τα έτη 1966-2009
- Διάγραμμα 4. Ετήσιοι μέσοι όροι της παγκόσμιας στάθμης της θάλασσας. Το κόκκινο δηλώνει το επίπεδο της θάλασσας από το 1870. Το μπλε είναι δεδομένα παλίρροιας ενώ η μαύρη γραμμή βασίζεται σε δεδομένα που προέκυψαν από δορυφορικές παρατηρήσεις. Στο ένθετο φαίνεται η μέση στάθμη της θάλασσας από το 1993
- Διάγραμμα 5. Δείκτης Climate Extremes Index (CEI) ανά έτος (1910-2015)
- Εικόνα 1. (a) Η λειτουργία του χλωροπλάστη κάτω από βέλτιστες συνθήκες θερμοκρασίας, (b) διαταραχές σημαντικών βιοχημικών διεργασιών του χλωροπλάστη κάτω από συνθήκες θερμικού stress
- Εικόνα 2. Σύνοψη των επιπτώσεων του θερμικού stress στους μεταβολίτες του σταφυλιού
- Εικόνα 3. Λιναλοόλη (αριστερά) και γερανιόλη (δεξιά)
- Εικόνα 4. Χημική δομή massoia lactone



## **Συντμήσεις, ακρωνύμια, σύμβολα και ορισμοί**

GDD	Δείκτης Βαθμοημερών ή Δείκτης Winkler
HI	Ηλιοθερμικός δείκτης του Huglin
BEDD	Δείκτης Βιολογικά Ενεργών Ημερών
GSTavg	Δείκτης Μέσης Θερμοκρασίας Περιόδου Ανάπτυξης
LGS	Μήκος της Περιόδου Ανάπτυξης
CI	Δείκτης Νυχτερινών Θερμοκρασιών
GSS	Κατάλληλη Περίοδος Ανάπτυξης
BBLI	Υδροθερμικός Δείκτης των Branas, Bernon και Levadoux
GSP	Δείκτης Βροχόπτωσης κατά την περίοδο ανάπτυξης
GCM	Παγκόσμια κλιματικά μοντέλα
RCM	Περιοχικά κλιματικά μοντέλα

# 1 Εισαγωγή

Ο όρος κλιματική αλλαγή αναφέρεται στις πολλαπλές αλλαγές που συντελούνται στο κλίμα σε παγκόσμιο επίπεδο, συμπεριλαμβανομένων της αύξησης του μέσου όρου θερμοκρασίας και των επιπέδων του διοξειδίου του άνθρακα, την έντονη μεταβλητότητα του καιρού και τα ακραία καιρικά φαινόμενα. Είναι ένα φαινόμενο που επηρεάζει τόσο τα φυσικά όσο και τα ανθρωπογενή συστήματα και, ανάμεσα τους, και τις γεωργικές καλλιέργειες. Η ανθρωπογενής δραστηριότητα απαιτεί την κύρια αιτία της κλιματικής αλλαγής, ιδιαίτερα από την περίοδο της βιομηχανικής επανάστασης και μετά. Ένας σημαντικός, επίσης, παράγοντας είναι η ενίσχυση του φαινομένου του θερμοκηπίου. Η αυξημένη συγκέντρωση των αερίων του συνεπάγεται τον εγκλωβισμό μεγαλύτερης ποσότητας ηλιακής ακτινοβολίας στην ατμόσφαιρα και κατά συνέπεια την άνοδο της θερμοκρασίας. Η εκτίμηση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στην ποιότητα των καλλιεργειών είναι ιδιαίτερη σημαντική και για την καλλιέργεια της αμπέλου και την ποιοτική και ποσοτική παραγωγή του καρπού της, του σταφυλιού.

Η παρούσα πτυχιακή εργασία έχει ως θέμα τις επιδράσεις της κλιματικής αλλαγής στην ποιότητα των σταφυλιών. Αποτελείται από τρία κεφάλαια. Στο πρώτο κεφάλαιο, δίνονται ορισμένες σύντομες πληροφορίες για την αμπελοκαλλιέργεια και το σταφύλι. Αναφέρονται περιληπτικά οι κλιματικοί παράγοντες που επηρεάζουν την καλλιέργεια της αμπέλου: υγρασία, θερμοκρασία, ηλιοφάνεια, παγετοί, μικρόκλιμα και οι βέλτιστες συνθήκες ανάπτυξης του φυτού. Η πρόγνωση της ποιότητας του σταφυλιού κατά τη διάρκεια μίας καλλιεργητικής περιόδου μπορεί να πραγματοποιηθεί με τη βοήθεια ορισμένων μαθηματικών μοντέλων τα οποία βασίζονται στην αλληλεπίδραση των κλιματικών συνθηκών και ορισμένων φυσικοχημικών κριτηρίων των σταφυλιών. Οι βιοκλιματικοί δείκτες βοηθούν στην διαμόρφωση μίας πρώτης εκτίμηση των αναμενόμενων επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στην καλλιέργεια του αμπελιού και στην αξιολόγηση της καταλληλότητας μίας περιοχής για φύτευση νέων αμπελώνων. Ορισμένοι από τους σημαντικότερους δείκτες που χρησιμοποιούνται είναι οι: Δείκτης Βαθμοημερών ή Δείκτης Winkler (GDD), Ηλιοθερμικός Δείκτης του Huglin (HI), Δείκτης Βιολογικά Ενεργών Ημερών (BEDD), Δείκτης Μέσης Θερμοκρασίας Περιόδου Ανάπτυξης (GSTavg), Μήκος της Περιόδου Ανάπτυξης (LGS), Δείκτης Νυχτερινών Θερμοκρασιών (CI), Κατάλληλη Περίοδο Ανάπτυξης (GSS), Υδροθερμικός Δείκτης των Branas, Bernon και Levadoux (BBLI), Δείκτης Βροχόπτωσης κατά την περίοδο ανάπτυξης (GSP).

Στο δεύτερο κεφάλαιο εξετάζεται το φαινόμενο της κλιματικής αλλαγής. Εξετάζονται ορισμένα φαινόμενα που παρατηρούνται σε παγκόσμιο επίπεδο και επιβεβαιώνουν ότι η κλιματική μεταβολή αποτελεί μία πραγματικότητα. Τα φαινόμενα αυτά είναι: η άνοδος της μέσης θερμοκρασίας της γης, η οποία προβλέπεται να αυξηθεί ακόμη περισσότερο, η συρρίκνωση του όγκου των παγετώνων είτε στους πόλους είτε σε ορεινές ή αλπικές εκτάσεις, η άνοδος της στάθμης της θάλασσας, τα ακραία φαινόμενα που λαμβάνουν χώρα και συχνότερα και μεγαλύτερη. Τα κλιματικά μοντέλα πρόβλεψης συμβάλλουν στην αξιολόγηση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής εφαρμόζοντας διάφορα σενάρια. Έχουν δημιουργηθεί πολλά κλιματικά μοντέλα που προσπαθούν να προβλέψουν το μέλλον της αμπελοκαλλιέργειας και του σταφυλιού, άλλα με περισσότερο και άλλα με λιγότερο δυσμενή συμπεράσματα. Διαχωρίζονται ανάλογα με τη γεωγραφική έκταση που καλύπτουν, είτε σε παγκόσμια κλιματικά μοντέλα (GCM) είτε σε περιοχικά μοντέλα (RCM).

Στο τρίτο κεφάλαιο, αναφέρονται οι συνέπειες που η κλιματική αλλαγή έχει στο σταφύλι. Η άνοδος της θερμοκρασίας, η αυξημένη συγκέντρωση του ατμοσφαιρικού διοξειδίου του άνθρακα, η αυξημένη έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία, η έλλειψη νερού επιδρούν στην ανάπτυξη και την παραγωγική δύναμη της αμπέλου, αλλά και στην ποιότητα του καρπού της. Η φαινολογία της αμπέλου υφίσταται μεταβολές και τα στάδια ανάπτυξης επηρεάζονται, με αποτέλεσμα σε αρκετές περιοχές η ωρίμανση και η συγκομιδή του φυτού να γίνονται συντομότερα, σε θερμότερους μήνες από το σύνηθες. Η χημική σύνθεση και η αναλογία των συστατικών στη ράγα αλλάζει με τη κλιματική αλλαγή, με αποτέλεσμα να επηρεάζεται και η ποιότητα του καρπού. Παρουσιάζεται αυξημένη σακχαροπεριεκτικότητα, ελαττωμένη οξύτητα, κυρίως του μηλικού οξέος, αυξημένη συγκέντρωση  $K^+$ , αυξημένο pH, τροποποίηση στην αναλογία των τανινών, ανθοκυανών και αρωματικών ενώσεων.

## 2 Κλίμα και αμπέλι

Ο όρος κλίμα δηλώνει τον μέσο καιρό που επικρατεί σε μία περιοχή κατά την διάρκεια ενός μεγάλου χρονικού διαστήματος, συνήθως μεγαλύτερου από 50 έτη. Η επιστήμη που ασχολείται με την μελέτη του κλίματος είναι η Κλιματολογία. Για την περιγραφή του κλίματος γίνεται χρήση των ίδιων μετεωρολογικών μεταβλητών που γίνονται και για τον καιρό, όπως θερμοκρασία αέρα, πίεση αέρα, υγρασία, νέφωση, βροχόπτωση, ομίχλη και άνεμος (Φωτιάδη, 2015).

Ανάλογα με την έκταση της περιοχής που εξετάζει, το κλίμα χωρίζεται στο α) μικρόκλιμα, όπου αφορά τις μετεωρολογικές παραμέτρους μίας έκταση μερικών τετραγωνικών μέτρων ( $m^2$ ) ή τετραγωνικών χιλιομέτρων ( $km^2$ ) όπως για παράδειγμα ένα θερμοκήπιο ή ένα πάρκο ή μία πόλη, β) στο μεσόκλιμα, όπου πρόκειται για το κλίμα που επικρατεί σε μία περιοχή δεκάδων ή εκατοντάδων τετραγωνικών χιλιομέτρων ( $km^2$ ) και διαμορφώνεται από διάφορες παραμέτρους όπως είναι το υψόμετρο, η παρουσία οροσειρών, λιμνών, ποταμιών και λοιπών υδάτινων πόρων και γ) στο μακρόκλιμα, όπου είναι το κλίμα που αφορά μία έκταση εκατοντάδων ή χιλιάδων τετραγωνικών χιλιομέτρων ( $km^2$ ), όπως είναι μία χώρα ή ένα τμήμα μίας ηπείρου (Φωτιάδη, 2015)

Το κλίμα, είτε μίας περιορισμένης σε έκταση περιοχής είτε όλου του πλανήτη, καθορίζεται από την αλληλεπίδραση και τον συσχετισμό μίας σειράς παραγόντων όπως είναι:

- Το ποσοστό της πλανητικής επιφάνειας που καλύπτεται από νερό και το ποσοστό που είναι ξηρά.
- Το ενεργειακό ισοζύγιο της γης και η κατανομή του σε στεριά και θάλασσα.
- Το ισοζύγιο και η κατανομή ύδατος ανάμεσα στη γη και την ατμόσφαιρα.
- Η πορεία των ωκεάνιων ρευμάτων.
- Ο σχηματισμός και η κίνηση των αερίων μαζών στην επιφάνεια της γης.
- Το γεωγραφικό ανάγλυφο μίας περιοχής.
- Το υψόμετρο (Φωτιάδη, 2015).

### 2.1 Κλιματικοί παράγοντες που επηρεάζουν την καλλιέργεια της αμπέλου

Η αμπελοκαλλιέργεια είναι μία από τις σημαντικότερες καλλιέργειες της γεωργίας δεδομένης της πολιτιστικής και οικονομικής σημασίας του σταφυλιού και του παραγόμενου οίνου. Η ποιότητα των σταφυλιών είναι ένα πολύπλοκο χαρακτηριστικό που αναφέρεται κυρίως στη σύνθεση του καρπού, συμπεριλαμβανομένων σακχάρων, οργανικών οξέων

(μηλικό και τρυγικό οξύ), αμινοξέα και ένα ευρύ φάσμα δευτερογενών μεταβολιτών όπως φαινολικές ενώσεις, αρώματα και πρόδρομες αρωματικές ενώσεις. Μεταξύ των παραγόντων που επηρεάζουν την περιεκτικότητα των διαφόρων συστατικών στον καρπό κατά τη συγκομιδή σημαντικό ρόλο έχουν οι κλιματικές παράμετροι, και ιδίως η θερμοκρασία (Arrizabalaga-Arriazu *et al.*, 2020).

Αμπελουργικές και οινολογικές έρευνες έχουν δείξει ότι η διακύμανση των καιρικών συνθηκών μεταξύ ακραίων τιμών σε ημερήσια βάση, όπως οι μέγιστες και ελάχιστες θερμοκρασίες, η ταχύτητα του ανέμου, η υγρασία και η βροχόπτωση, μπορούν να επηρεάσουν σημαντικά τη φυσιολογία και τα στάδια ανάπτυξης των φυτών. Αυτές οι επιδράσεις μπορούν τελικά να οδηγήσουν σε σημαντικές μεταβολές της φαινολογίας της αμπέλου, επηρεάζοντας έτσι τα στάδια ανάπτυξης, όπως την εμφάνιση των φύλλων, την ανθοφορία, την ωρίμανση και τη συγκομιδή. Οι αλλαγές στη φαινολογία, με τη σειρά τους, συνήθως οδηγούν σε αλλαγές στη σύσταση των ραγών και του μούστου για παράδειγμα στην περιεκτικότητα σε σάκχαρα και στη σύνθεση άλλων κύριων συστατικών, όπως των οξέων, φαινολών και ορισμένων πρόδρομων αρωματικών ενώσεων (Sallis *et al.*, 2010).

Η μεταβολή στη χημική σύσταση του σταφυλιού συνεπάγεται τη μεταβολή των ποιοτικών και οργανοληπτικών χαρακτηριστικών του, γεγονός που θα οδηγήσει σε αρκετές περιπτώσεις, σε επανέλεγχο των καλλιεργητικών τεχνικών, αλλά και επαναπροσδιορισμό της παραγωγικής διαδικασίας, της ποσότητας του καρπού που διατίθεται στην αγορά και του σκοπού για τον οποίο διατίθεται.

## **2.2 Βέλτιστες κλιματικές συνθήκες για την καλλιέργεια του αμπελιού**

Η αμπελοκαλλιέργεια περιορίζεται από πληθώρα κλιματολογικών συνθηκών, όπως η υγρασία. Μια αρκετά μακρά περίοδος ανάπτυξης (150-180 ημέρες) με σχετικά χαμηλή υγρασία (μικρότερη από 800 mm ετησίως), αλλά η επαρκής υγρασία του εδάφους είναι απαραίτητη (FAO, 2009). Κατά την περίοδο του τρύγου, οι βροχοπτώσεις ή το υψηλό ποσοστό υγρασίας μπορεί να προκαλέσει προβλήματα στον καρπό, λόγω ευαισθησίας σε ορισμένες ασθένειες, όπως η προσβολή από τον *Botrytis cinerea*. Ωστόσο, οι ποικιλίες του *Muscadinia* έχουν καλύτερη ανάπτυξη σε υγρά κλίματα από ότι οι ποικιλίες του *Eunivitis*. (Ventikasamy *et al.*, 2019)

Θερμοκρασίες από τον Απρίλιο έως τον Σεπτέμβριο είναι επίσης ζωτικής σημασίας για να αναπτυχθεί σωστά η άμπελος και να ολοκληρωθεί η ωρίμανση των σταφυλιών. Όταν

οι θερμοκρασίες είναι κάτω από 10 °C, τα αμπέλια μένουν αδρανή. Η βέλτιστη θερμοκρασία είναι μεταξύ 25 και 30 °C. Θερμοκρασίες υψηλότερες από 38 °C είναι ικανές να σταματήσουν την ανάπτυξη (FAO, 2009). Τα επιτραπέζια σταφύλια συνήθως απαιτούν ένα ζεστό, ξηρό κλίμα, δηλαδή ζεστές μέρες, δροσερές νύχτες και χαμηλή υγρασία, συνθήκες οι οποίες συμβάλλουν στη ποιοτικότερη παραγωγή (Ventikasamy *et al.*, 2019)

Η ηλιοφάνεια επίσης επηρεάζει σημαντικά, καθώς η θερμική ενέργεια που παρέχεται από το περιβάλλον στην άμπελο θα πρέπει να είναι αρκετή ώστε να ωριμάσει ο καρπός και να ολοκληρωθεί ο ετήσιος κύκλος βλάστησης της αμπέλου. Για την εξασφάλιση της επαρκούς φωτοσύνθεσης, ώστε να πραγματοποιηθεί η ωρίμανση των φρούτων και η ανάπτυξη του φυτού, καθώς και για τη διατήρηση του μελλοντικού παραγωγικού δυναμικού είναι απαραίτητες οι κατάλληλες ώρες έκθεσης στο φως του ήλιου (Ventikasamy *et al.*, 2019).

Άλλοι παράγοντες που δύναται να επηρεάσουν είναι οι παγετοί (-1 °C και χαμηλότεροι), που εμφανίζονται μετά την έναρξη της ανάπτυξης αμπέλου την άνοιξη θα μπορούσαν να καταστρέψουν τους περισσότερους γόνιμους βλαστούς και να μειώσουν τη συγκομιδή ακόμη και στο μηδέν (FAO, 2009), καθώς και παραλλαγές στο μικρόκλιμα. Οι παραλλαγές στο μικρόκλιμα, η τοποθεσία και η τοπογραφία μεμονωμένων αμπελώνων συμβάλλουν στην ποικιλία των κρασιών και στην αντίστοιχη ποιότητά τους (FAO, 2009).

## 2.3 Μοντέλα ποιότητας του σταφυλιού

Η ποιότητα του σταφυλιού αξιολογείται από διάφορα φυσικοχημικά κριτήρια (σακχαροπεριεκτικότητα, η ολική οξύτητα, το pH, η ποσότητα μηλικού και τρυγικού οξέος), τα οποία εξαρτώνται τόσο από τις αμπελουργικές πρακτικές που ακολουθούνται από τους καλλιεργητές, όσο και από τις φυσικές συνθήκες, έδαφος και κλίμα, που επικρατούν σε μία ορισμένη περιοχή. Οι Baudrit *et al.* (2015) και Perrot *et al.* (2015) πρότειναν ένα προγνωστικό μαθηματικό μοντέλο ποιότητας σταφυλιού (συγκέντρωση σακχάρου, οξύτητας και ανθοκυανίνης κατά την ωριμότητα), το οποίο βασίζεται στις αλληλεπιδράσεις των κλιματικών συνθηκών (θερμοκρασία αέρα, βροχόπτωση, ώρες ηλιοφάνειας κ.λπ.) και ποικίλων χαρακτηριστικών ωριμότητας των σταφυλιών (μέγεθος καρπού, χρώμα σταφυλιού, φαινολικές ενώσεις κ.λπ.). Αυτό το μοντέλο αποτελεί μια μαθηματική προσέγγιση που ενσωματώνει την ασαφή λογική μέσα σε ένα δυναμικό δίκτυο Bayesian. Χρησιμοποιεί επίσης μια βάση δεδομένων και δηλώσεις εμπειρογνομώνων. Ακόμα κι αν αυτό το μοντέλο επιτρέπει σε κάποιον να ακολουθήσει την ποιότητα του σταφυλιού κατά την ωρίμανση του καρπού του

σταφυλιού, μειονεκτεί στο γεγονός ότι δε λαμβάνει υπόψη ούτε τις αμπελουργικές πρακτικές ούτε πολλές άλλες παραμέτρους ποιότητας σταφυλιών (Beauchet *et al.*, 2020).

Εναλλακτικά, το μοντέλο STICS vine στοχεύει στην παροχή περιβαλλοντικών και γεωργικών μεταβλητών και προτάθηκε από τους Brisson *et al.* (2003) και Fraga *et al.* (2015). Μεταξύ των στόχων του μοντέλου είναι η προσομοίωση των φαινολογικών σταδίων. Το μοντέλο αυτό εξετάζει διάφορες παραμέτρους για το κλίμα (ακτινοβολία, βροχόπτωση, θερμοκρασία, άνεμος, κ.λπ.), έδαφος (περιεκτικότητα σε νερό, άζωτο, κ.λπ.) και διαχείριση καλλιεργειών (βιομάζα, περιεκτικότητα σε άζωτο, περιοχή φύλλων και βιομάζα) για την προσομοίωση των σχέσεων τους ιδιαίτερα με την άμπελο (Beauchet *et al.*, 2020).

Οι Jones *et al.* (2005) μελέτησαν τις σχέσεις μεταξύ του κλίματος και των φαινολογικών σταδίων της αμπέλου μέχρι τη συγκομιδή, αξιολογώντας τη σύνθεση, τη συνολική παραγωγή και ορισμένα ποιοτικά χαρακτηριστικά των σταφυλιών, όπως περιεκτικότητα σε σάκχαρα, ολική οξύτητα και βάρος ράγας. Ο κύριος σκοπός τους ήταν να ποσοτικοποιήσουν την εξέλιξη αυτών των παραμέτρων ποιότητας κατά τη διάρκεια των φαινολογικών σταδίων (Beauchet *et al.*, 2020).

## 2.4 Βιοκλιματικοί δείκτες

Η καταλληλότητα του κλίματος μίας περιοχής για αμπελοκαλλιέργεια αξιολογείται με τη βοήθεια ορισμένων δεικτών που ονομάζονται βιοκλιματικοί ή κλιματικοί. Οι βιοκλιματικοί δείκτες έχουν χρησιμοποιηθεί ευρέως ώστε να παρέχουν μια αρχική αξιολόγηση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στην αμπέλι και να οριοθετήσει τις αμπελουργικές περιοχές και τις κατάλληλες περιοχές για φύτευση σε όλο τον κόσμο (Piña-Rey *et al.*, 2020).

Οι βιοκλιματικοί δείκτες **χωρίζονται σε 5 κύριες κατηγορίες:**

- (1) βιοκλιματικοί δείκτες που εστιάζουν στη συσσώρευση θερμικών μονάδων,
- (2) βιοκλιματικοί δείκτες που εστιάζουν στη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου,
- (3) βιοκλιματικοί δείκτες που εστιάζουν στην ελάχιστη θερμοκρασία,
- (4) βιοκλιματικοί δείκτες που εστιάζουν στα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα (βροχή, δροσιά, χαλάζι, χιόνι, πάχνη, υδρατμοί) και
- (5) βιοκλιματικοί δείκτες που εστιάζουν στην ταχύτητα του ανέμου (Badr *et al.*, 2018).

Ορισμένοι από τους σημαντικότερους δείκτες που χρησιμοποιούνται στην καλλιέργεια της αμπέλου είναι:

- **Δείκτης Βαθμομερών ή Δείκτης Winkler (Winkler Index ή Growing Degree Days- WI ή GDD):** Αναφέρεται στο σύνολο των ημερών κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου με θερμοκρασία μεγαλύτερη των 10 °C. Οι απαιτούμενες βαθμομέρες είναι συνάρτηση της ποικιλίας της αμπέλου. Συνήθως για το βόρειο ημισφαίριο ο δείκτης GDD υπολογίζεται για επτά μήνες, 1 Απριλίου έως 31 Οκτωβρίου για την άμπελο (Badr *et al.*, 2018). Καθορίζει την καταλληλότητα της καλλιέργειας σε διαφορετικά κλίματα (Honorio *et al.*, 2018)
- **Ηλιοθερμικός δείκτης του Huglin (Huglin Index - HI):** Ο δείκτης Huglin παρουσιάστηκε από τον Pierre Huglin (1978) και συνδυάζει τη θερμοκρασία του αέρα κατά τη διάρκεια της ενεργού περιόδου της βλαστικής ανάπτυξης με ένα συντελεστή διάρκειας (K) της ημέρας που ποικίλει ανάλογα με το γεωγραφικό πλάτος (Πίνακας 1). Παρέχει πολύτιμες πληροφορίες για τα τοπικά αθροίσματα θερμότητας, λαμβάνοντας υπόψη τις μέσες και μέγιστες θερμοκρασίες και σταθμίζοντας τις συσσωρευμένες θερμοκρασίες στην περίοδο της ημέρας. Οι Huglin και Schneider (1998) ταξινόμησαν τις ποικιλίες σταφυλιών με βάση το δείκτη HI (Badr *et al.*, 2018). Στο βόρειο ημισφαίριο, η περίοδος για την οποία υπολογίζεται ο δείκτης HI είναι από 1 Απριλίου έως 30 Σεπτεμβρίου (Honorio *et al.*, 2018).

Πίνακας 1: Παραδείγματα συντελεστή K του δείκτη Huglin ανάλογα με το γεωγραφικό πλάτος.  
Πηγή: <https://blog.vintagereport.com/2017/09/18/bioclimate-indices-ripening-period-huglin-index/>

k coefficient value	latitude in north or south hemisphere
k= 1.02	from 40°1' to 42°0'
k= 1.03	from 42°1' to 44°0'
k= 1.04	from 44°1' to 46°0'
k= 1.05	from 46°1' to 48°0'
k= 1.06	from 48°1' to 50°0'

- **Δείκτης Βιολογικά Ενεργών Ημερών - Biologically Effective Degree Days (BEDD ή E<sub>0</sub>):** Αναπτύχθηκε από τον Gladstones (1992) για να καθορίσει τις αντίστοιχες ομάδες ωριμότητας διαφόρων ποικιλιών σταφυλιών. Οι βιολογικά ενεργές ημέρες αντιστοιχούν σε αθροίσματα θερμοκρασιών που ορίζονται από ανώτατα και κατώτατα όρια, δηλαδή, μεταξύ 10 °C, που θεωρείται η ελάχιστη θερμοκρασία στην οποία είναι δυνατή η ανάπτυξη της αμπέλου και 19 °C, που θεωρείται ότι το θερμοκρασιακό όριο πάνω από



το οποίο ξεκινάει η επιβράδυνση του ρυθμού ανάπτυξης του φυτού (Badr *et al.*, 2018). Παρουσιάζει επίσης και ένα συντελεστή προσαρμογής ανάλογα τη διάρκεια της ημέρας (K) και ανάλογα με την ημερήσια διαφορά θερμοκρασιών (DTRadj). Αυτή η διαφορά, όπως φαίνεται στον πίνακα 1, πολλαπλασιάζεται με 0,25 (θετικός συντελεστής) αν είναι πάνω από 13 °C με -0,25 °C (αρνητικός συντελεστής) αν είναι μικρότερη από 10 °C (Honorio *et al.*, 2018).

- **Δείκτης Μέσης Θερμοκρασίας Περιόδου Ανάπτυξης- Growing Season Average Temperature (GSTavg):** Πρόκειται για ένα δείκτη που δείχνει τη μέση θερμοκρασία κατά την εποχή ανάπτυξης του φυτού, δηλαδή από τον Απρίλιο έως τον Οκτώβριο για το βόρειο ημισφαίριο (Badr *et al.*, 2018).
- **Μήκος της Περιόδου Ανάπτυξης – (Length of Growing Season -LGS):** Είναι ο αριθμός των ημερών με μέσες θερμοκρασίες άνω των 10 °C για την περίοδο 1 Απριλίου έως 31 Οκτωβρίου στο βόρειο ημισφαίριο (Badr *et al.*, 2018).
- **Δείκτης νυχτερινών θερμοκρασιών (Cool or Cold night Index -CI):** Λαμβάνει υπόψη την ελάχιστη θερμοκρασία κατά την ωρίμανση των σταφυλιών, η οποία είναι συνήθως η μέση ελάχιστη θερμοκρασία αέρα κατά το Σεπτέμβριο για το βόρειο ημισφαίριο και κατά τον Μάρτιο για το νότιο ημισφαίριο (Badr *et al.*, 2018). Ο στόχος του δείκτη CI είναι να βελτιώσει την αξιολόγηση των ποιοτικών δυνατοτήτων των οινοπαραγωγικών περιοχών, ειδικά σε σχέση με τους δευτερογενείς μεταβολίτες των σταφυλιών (πολυφαινόλες, αρωματικές ενώσεις), οι οποίοι είναι υπεύθυνοι για το χρώμα και τα αρώματα των σταφυλιών στον κόσμο (Piña-Rey *et al.*, 2020).
- **Κατάλληλη περίοδο ανάπτυξης (Growing Season Suitability - GSS):** Προσδιορίζεται από το ποσοστό των ημερών από την 1<sup>η</sup> Αυγούστου έως την 31<sup>η</sup> Σεπτεμβρίου στο βόρειο ημισφαίριο που έχουν μέσο όρο θερμοκρασίας άνω των 10 °C (Piña-Rey *et al.*, 2020).
- **Υδροθερμικός δείκτης των Branas, Bernon και Levadoux (Hydrothermic Index of Branas, Bernonand Levadoux- BBLI):** Ο υδροθερμικός δείκτης των Branas, Bernon και Levadoux (BBLI) προσδιορίζει τα πλεονάσματα ή τα ελλείμματα υγρασίας που μπορούν να επηρεάσουν την απόδοση σταφυλιών και την ποιότητα κρασιού. Ο υπολογισμός είναι το αποτέλεσμα των μηνιαίων τιμών μέσης θερμοκρασίας (°C) και το ποσό των βροχοπτώσεων (Pamount σε mm) μεταξύ Απριλίου και Αυγούστου. Το BBLI

παρέχει ένα ανώτερο όριο κάτω από το οποίο είναι χαμηλή η πιθανότητα προσβολής από μούχλα στα αμπέλια (Piña-Rey *et al.*, 2020).

- **Δείκτης βροχόπτωσης κατά την περίοδο ανάπτυξης (Growing Season Precipitation Index -GSP):** Είναι το άθροισμα της βροχόπτωσης (mm) κατά την περίοδο 1<sup>η</sup> Αυγούστου έως την 30<sup>η</sup> Σεπτεμβρίου στο βόρειο ημισφαίριο (Piña-Rey *et al.*, 2020) (Πίνακας 2).

Πίνακας 2: Υπολογισμός ορισμένων βιοκλιματικών δεικτών. Πηγή: Honorio *et al.* (2018)

Growing season temperature index (GST) (°C)	$\frac{\sum_{d=1}^n \left[ \frac{(T_{max} + T_{min})}{2} \right]}{n}$
Growing degree-day index (GDD)† (°C units)	$\sum_{d=1}^n \max \left[ \frac{(T_{max} + T_{min})}{2} - 10.0 \right]$
Huglin index (HI) (°C units)	$\sum_{d=1}^n \max \left[ \frac{(T_{mean} - 10 + T_{max} - 10)}{2} \right] \cdot K$ where $K$ is an adjustment for latitude/day length
Biological effective degree-day index (BEDD) (°C units)	$\sum_{d=1}^n \min \left[ \max \left( \frac{(T_{max} + T_{min})}{2} - 10 \right), 9 \right] DRT_{adj} \cdot K$ $DTR_{adj} = \begin{cases} 0.25[DRT - 13], & [DRT] > 13 \\ 0.0, & 10 < [DRT] < 13 \\ 0.25[DRT - 10], & [DRT] < 10 \end{cases}$ where $K$ is an adjustment for latitude/day length

### 3 Κλιματική αλλαγή

Η κλιματική αλλαγή είναι μία διαδικασία η οποία καθορίζεται από φυσικά αίτια, όπως ο αέρας, το νερό, η γη αλλά και ανθρωπογενή αίτια (Φωτιάδη, 2015). Το κλίμα της Γης έχει υποστεί έντονες αλλαγές κατά τη διάρκεια της ιστορίας της γης. Μόλις τα τελευταία 650.000 χρόνια υπήρξαν επτά κύκλοι παγετώδους προόδου και υποχώρησης, με το απότομο τέλος της τελευταίας εποχής των παγετώνων, πριν από περίπου 11.700 χρόνια να σηματοδοτεί την αρχή της σύγχρονης κλιματικής εποχής και του ανθρώπινου πολιτισμού. Οι περισσότερες από αυτές τις κλιματικές αλλαγές αποδίδονται σε πολύ μικρές παραλλαγές στην τροχιά της Γης που αλλάζουν την ποσότητα της ηλιακής ενέργειας που λαμβάνει ο πλανήτης (NASA, 2019).

Η τεχνολογική εξέλιξη όπως η ύπαρξη δορυφόρων περιμετρικά του πλανήτη, έχουν δώσει τη δυνατότητα στους επιστήμονες να δουν και να συλλέξουν πολλούς διαφορετικούς τύπους πληροφοριών για τη γη και το κλίμα της σε παγκόσμια κλίμακα. Για πολλά χρόνια συλλέγονται δεδομένα που αποτελούν σήματα ενός κλίματος που μεταβάλλεται (NASA, 2019).

Η τάση της υπερθέρμανσης είναι εμφανής σε όλες τις ανεξάρτητες μεθόδους υπολογισμού της παγκόσμιας μεταβολής της θερμοκρασίας. Η κλιματική αλλαγή επιβεβαιώνεται επίσης από άλλες ανεξάρτητες παρατηρήσεις, όπως η τήξη των παγετώνων των βουνών σε κάθε ήπειρο, οι μειώσεις στην έκταση της κάλυψης χιονιού, η πρόωρη άνθιση των φυτών την άνοιξη, μια μικρότερη περίοδος πάγου σε λίμνες και ποτάμια, η αύξηση της θερμότητας στον ωκεανό, ο μειωμένος πάγο στην Αρκτική και η αύξηση της στάθμης της θάλασσας, τα ακραία καιρικά φαινόμενα (NOOA, 2019).

## 3.1 Φαινόμενα που αποδεικνύουν την κλιματική αλλαγή

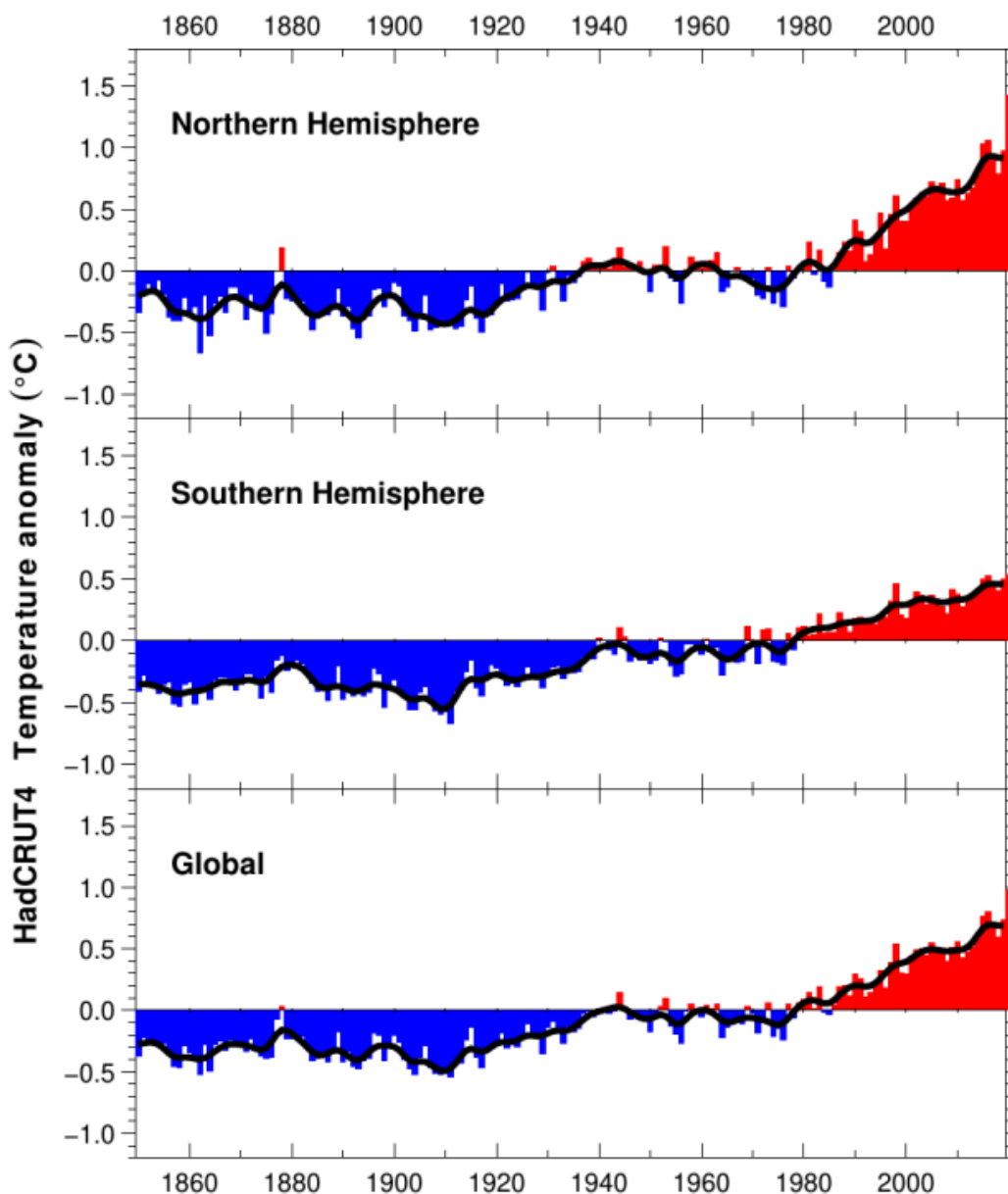
### 3.1.1 Άνοδος της μέσης θερμοκρασίας της γης

Η μέση θερμοκρασία της επιφάνειας του πλανήτη από τα τέλη του 19<sup>ου</sup> αιώνα μέχρι σήμερα έχει σημειώσει μέση αύξηση περίπου κατά 1,62 °F ή 0,9 °C (NASA, 2019). Τα δεδομένα που δηλώνουν την άνοδο της παγκόσμιας θερμοκρασίας συλλέγονται από τις μετρήσεις θερμοκρασίας αέρα, πάνω από ξηρά και θάλασσα, που πραγματοποιούνται από πλοία, σημαντήρες και δορυφόρους (NOOA, 2019). Οι μετρήσεις αυτές υποβάλλονται σε επεξεργασία και ελέγχονται για τυχαία και συστηματικά σφάλματα και στη συνέχεια χρησιμοποιούνται για την παραγωγή μία χρονικής σειράς που απεικονίζει τη μεταβολή της μέσης θερμοκρασίας της γης (NOOA, 2019). Η αύξηση αυτή οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στην αύξηση του διοξειδίου του άνθρακα και άλλων ανθρωπογενών εκπομπών αερίων στην ατμόσφαιρα (NASA, 2019).

Το 2019, η μέση θερμοκρασία της γης ήταν η δεύτερη υψηλότερη που καταγράφηκε από το 1880 και έπειτα. Παρουσίασε σε σχέση με το μέσο όρο θερμοκρασιών από το 1951 έως το 1980, αύξηση τιμής ίση με 1,8 βαθμούς °F ή 0,98 °C. Η υψηλότερη μέση θερμοκρασία είχε καταγραφεί το 2016 (Schmunk, NASA/GSFCGISS, 2019).

Η άνοδος της θερμοκρασίας έχει επίδραση ακόμη και στη θερμοκρασία των ωκεανών. Η θερμοκρασία του νερού στον ωκεανό ποικίλει σημαντικά από τόπο σε τόπο και από έτος σε έτος. Σημειώνεται ότι η αλλαγή των ωκεάνιων ρευμάτων και η φυσική ρευστότητα του νερού προκαλούν μία μείωση της αξιοπιστίας των μετρήσεων, ωστόσο όχι τόσο σημαντική ώστε να μην μπορούν να αντληθούν ορθά συμπεράσματα. Μεγάλο μέρος από την αυξημένη θερμότητα απορροφήθηκε και απορροφάται από τα ανώτερα στρώματα νερού, δηλαδή από την επιφάνεια ως τα 700 m, με αποτέλεσμα να σημειώνεται άνοδος της θερμοκρασίας περισσότερο από 0,4 βαθμούς °F από το 1969 μέχρι σήμερα (NOAA, 2020) .

Στο παρακάτω διάγραμμα (Διάγραμμα 1), καταγράφεται η εξέλιξη της θερμοκρασίας στο βόρειο και νότιο ημισφαίριο της γης καθώς και συνολικά στον πλανήτη από το 1850 περίπου μέχρι σήμερα. Παρατηρείται ότι σταδιακή αύξηση της θερμοκρασίας ξεκίνησε να συντελείται από τις αρχές του εικοστού αιώνα. Βαθμιαία αυξήθηκε σημαντικά, με αποτέλεσμα οι υψηλότερες θερμοκρασίες να σημειώνονται από το 1980 και μετά. Η αυξητική αυτή τάση της γραφικής παράστασης της μέσης θερμοκρασίας της γης συνεχίζεται και σήμερα.



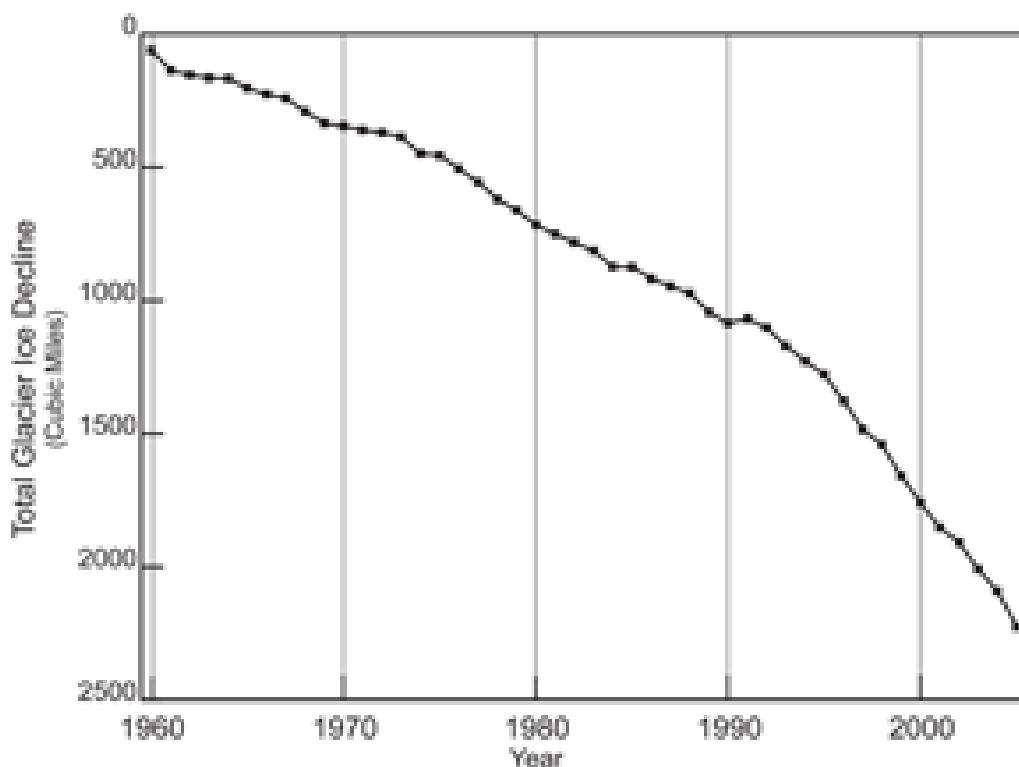
Διάγραμμα 1: Οι μέσες τιμές τις θερμοκρασίας του βορείου και νότιου ημισφαιρίου της γης καθώς και του πλανήτη από το 1860 -2019. Πηγή: <https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/temperature/>

### 3.1.2 Συρρίκνωση του όγκου των παγετώνων

Οι παγετώνες είναι παχιές μάζες από πάγο που κινούνται προς τα κατάντη<sup>1</sup> λόγω του βάρους τους (Δούτσος, 2000). Το γλυκό νερό βρίσκεται δεσμευμένο στους παγετώνες σε ποσοστό που ανέρχεται στο 75%. Το 5% των παγετώνων έχουν τη μορφή ορεινών ή αλπικών παγετώνων. Οι ηπειρωτικοί παγετώνες, το υπόλοιπο δηλαδή 95% των παγετώνων, καλύπτουν μεγάλες εκτάσεις, (Ανταρκτική, Γροιλανδία) γύρω από τους πόλους της γης, καλύπτοντας περίπου το 1/10 της στεριάς (Δούτσος, 2000).

<sup>1</sup>κατάντη: τμήματα που βρίσκονται στο κάτω μέρος (π.χ. εκβολές ποταμού, πρόποδες βουνού, κατώτερα στρώματα)

Οι ορεινοί παγετώνες υποχωρούν σχεδόν παντού σε όλο τον κόσμο, όπως για παράδειγμα από τις κορυφές των Άλπεων, των Ιμαλαίων, των Άνδεων, της Αλάσκας και της Αφρικής (NASA, 2019). Ο ρυθμός με τον οποίο συρρικνώνονται τον τελευταίο αιώνα είναι πρωτοφανής. Ορισμένοι έχουν εξαφανιστεί εντελώς, ενώ άλλοι αναμένεται να χαθούν μέσα στις επόμενες δεκαετίες (Roe *et al.*, 2016). Η προοδευτική εξαφάνιση των παγετώνων έχει επιπτώσεις όχι μόνο στην άνοδο της στάθμης της θάλασσας, αλλά μπορεί να αποτελέσει και αιτία για την μείωση των αποθεμάτων πόσιμου νερού σε ορισμένες περιοχές της Ασίας και της Νότιας Αμερικής (NOAA, 2019).

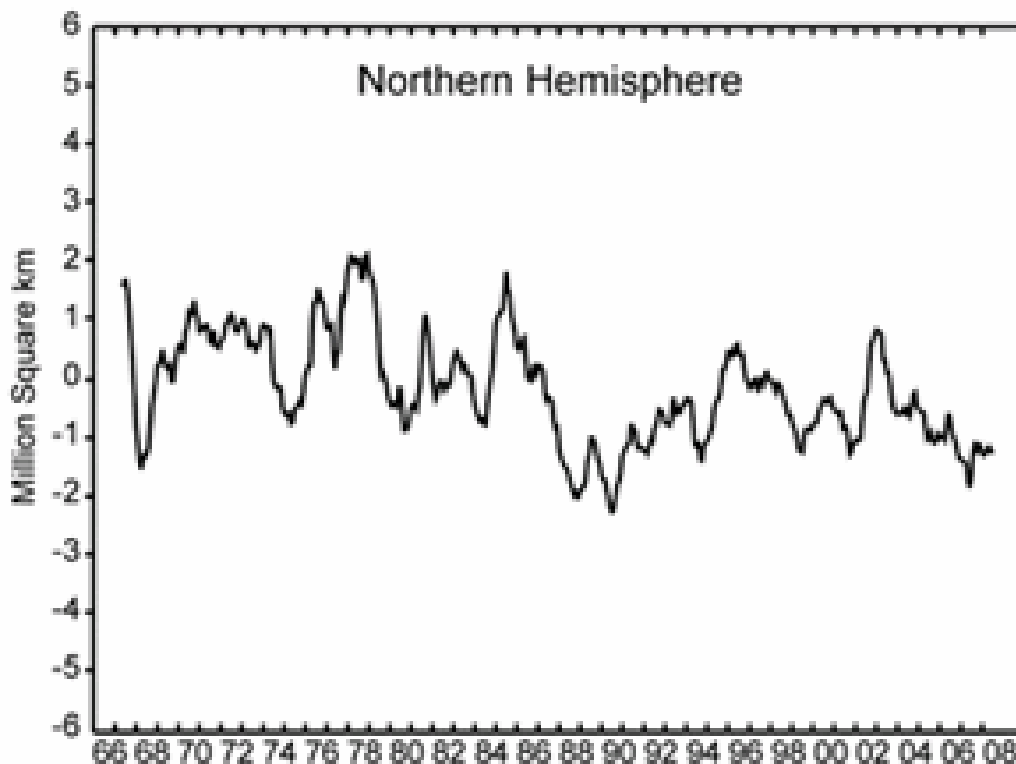


Διάγραμμα 2: Πτώση σε κυβικά μίλια στον όγκο των κυβικών μιλίων στον παγετώνα παγκοσμίως κατά τη χρονική περίοδο 1960- 2005.  
Πηγή: <https://www.ncdc.noaa.gov/monitoring-references/faq/indicators.php#warming-climate>

Στο παραπάνω διάγραμμα (Διάγραμμα 2) απεικονίζεται η μείωση του όγκου των παγετώνων στην επιφάνεια της γης. Παρουσιάζει, όπως προαναφέρθηκε, μία ραγδαία πτώση από το 1960 μέχρι το 2005 κατά 2200 κυβικά μίλια. Εκτός από τη μείωση της έκτασης των ορεινών παγετώνων σημειώνεται και μείωση των παγετώνων και στους πόλους. Τόσο η έκταση όσο και το πάχος του θαλάσσιου πάγου της Αρκτικής έχουν μειωθεί γρήγορα τις τελευταίες δεκαετίες (NASA, 2019).

### 3.1.3 Μείωση της ποσότητας χιονιού του βόρειου ημισφαιρίου

Οι δορυφορικές παρατηρήσεις αποκαλύπτουν ότι η ποσότητα της κάλυψης χιονιού στο Βόρειο Ημισφαίριο έχει μειωθεί τις τελευταίες πέντε δεκαετίες και ότι το χιόνι λιώνει νωρίτερα (NASA, 2019). Μερικές από τις μεγαλύτερες μειώσεις έχουν σημειωθεί κατά τους ανοιξιάτικους και καλοκαιρινούς μήνες, όπου παρατηρείται και αύξηση της θερμοκρασίας (NOAA, 2019). Το Διάγραμμα 3 δείχνει την έκταση που κάλυπτε το χιόνι ανά μήνα στο βόρειο ημισφαίριο κατά την χρονική περίοδο 1966-2008 εκφρασμένη σε εκατομμύρια τετραγωνικά χιλιόμετρα.



Διάγραμμα 3: Μέσος όρος μηνιαίας διακύμανσης κάλυψης χιονιού σε περιοχές του Βόρειου Ημισφαιρίου, συμπεριλαμβανομένης και της Γροιλανδίας για τα έτη 1966-2009.  
Πηγή : <https://www.ncdc.noaa.gov/monitoring-references/faq/indicators.php#warming-climate>

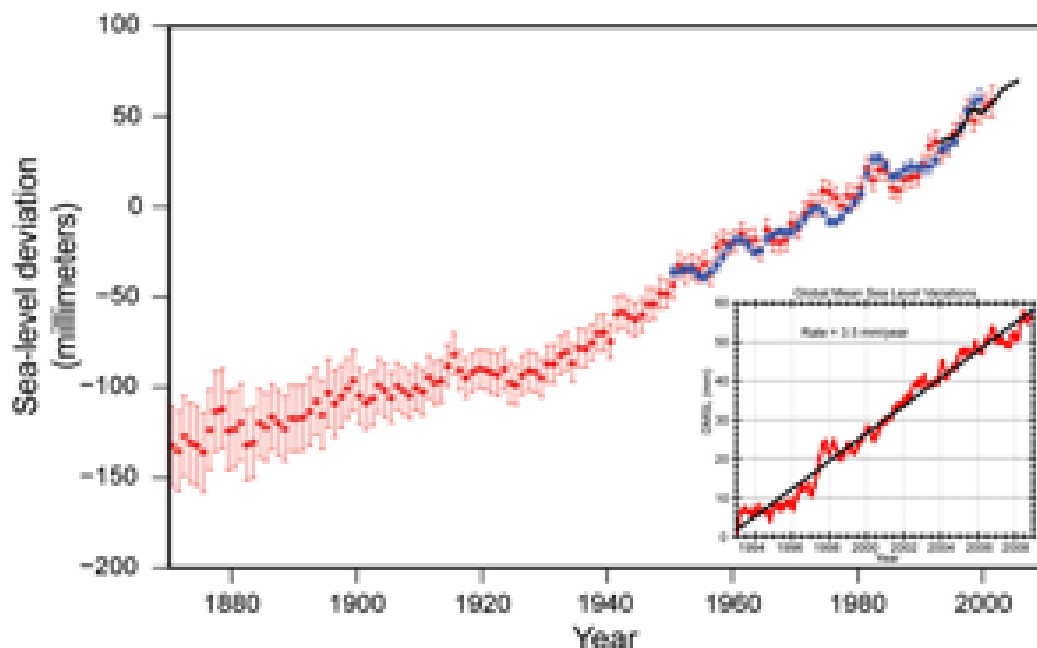
### 3.1.4 Άνοδος της στάθμης της θάλασσας

Η παγκόσμια στάθμη της θάλασσας αυξήθηκε περίπου 8 ίντσες τον τελευταίο αιώνα, δηλαδή περίπου 20.32 cm. Ωστόσο, το ποσοστό των δύο τελευταίων δεκαετιών είναι σχεδόν διπλάσιο από τον περασμένο αιώνα και επιταχύνεται ελαφρά κάθε χρόνο (NASA, 2019).

Η παγκόσμια μέση στάθμη της θάλασσας έχει αυξηθεί με μέσο ρυθμό περίπου 1,7 mm/έτος τα τελευταία 100 χρόνια (μετρούμενη από παρατηρήσεις παλίρροιας), που είναι σημαντικά μεγαλύτερος από τον μέσο όρο των τελευταίων ετών. Από το 1993, η παγκόσμια

στάθμη της θάλασσας έχει αυξηθεί με επιταχυνόμενο ρυθμό περίπου 3,5 mm/ έτος. Μεγάλο μέρος της αύξησης της στάθμης της θάλασσας μέχρι σήμερα είναι αποτέλεσμα της αυξανόμενης θερμότητας του ωκεανού που τον κάνει να επεκτείνεται. Αναμένεται ότι η τήξη του χερσαίου πάγου (π.χ. από τη Γροιλανδία και τους παγετώνες του βουνού) θα διαδραματίσει σημαντικότερο ρόλο στη συμβολή στη μελλοντική αύξηση της στάθμης της θάλασσας (NOAA, 2019).

Στο παρακάτω διάγραμμα (Διάγραμμα 4), απεικονίζονται οι ετήσιοι μέσοι όροι της παγκόσμιας στάθμης της θάλασσας από το 1870 ως το 2006. Αποτυπώνεται σαφώς η ανοδική πορεία της στάθμης της θάλασσας, καθώς ο επιταχυνόμενος ρυθμός της αύξησης από το 1993 και μετά.



Διάγραμμα 4: Ετήσιοι μέσοι όροι της παγκόσμιας στάθμης της θάλασσας. Το κόκκινο δηλώνει το επίπεδο της θάλασσας από το 1870. Το μπλε είναι δεδομένα παλίρροιας ενώ η μαύρη γραμμή βασίζεται σε δεδομένα που προέκυψαν από δορυφορικές παρατηρήσεις. Στο ένθετο φαίνεται η μέση στάθμη της θάλασσας από το 1993.  
Πηγή: <https://www.ncdc.noaa.gov/monitoring-references/faq/indicators.php#warming-climate>

### 3.1.5 Ακραία καιρικά φαινόμενα

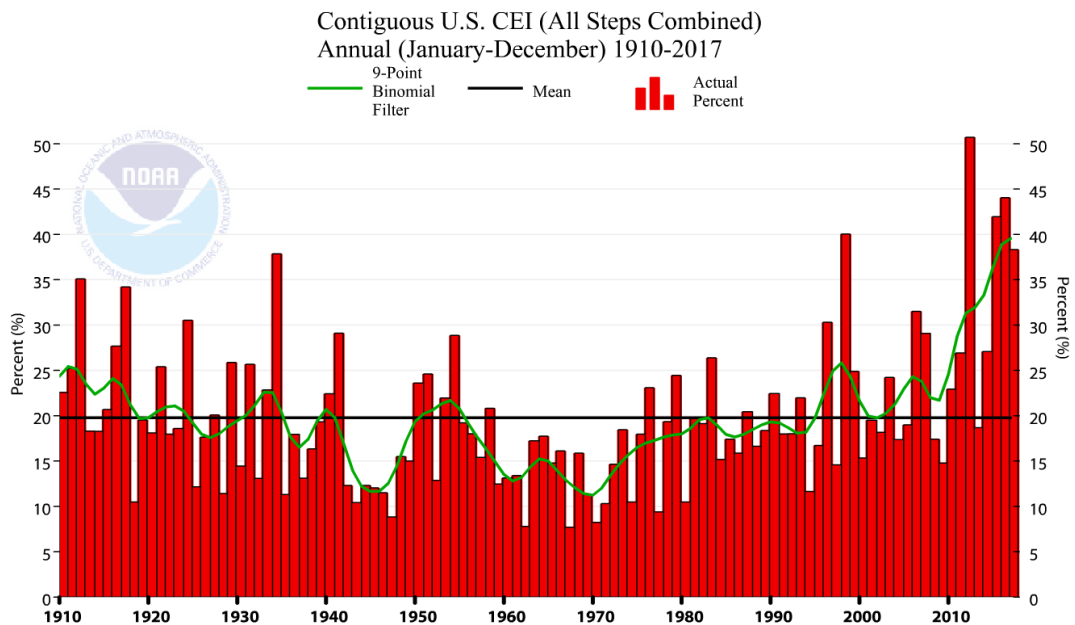
Ένας τρόπος αξιολόγησης των κλιματικών αλλαγών είναι η μέτρηση της συχνότητας των συμβάντων που θεωρούνται «ακραία», όπως είναι για παράδειγμα οι έντονες βροχοπτώσεις, οι καταιγίδες μεγάλης έντασης, οι εξαιρετικά υψηλές θερμοκρασίες (NOAA, 2019).

Για να αντιληφθεί κανείς την αύξηση του αριθμού των ακραίων καιρικών φαινομένων μπορεί να παρακολουθήσει τη τιμή του δείκτη Climate Extremes Index (CEI) για



τις παρακείμενες Ηνωμένες Πολιτείες. Πρόκειται για ένα αντικειμενικό τρόπο για να προσδιοριστεί αν τα ακραία γεγονότα αυξάνονται, καθώς πρόκειται για ένα εργαλείο που αναπτύχθηκε για να αποδώσει ποσοτικά τις παρατηρούμενες αλλαγές στο κλίμα, στις Ηνωμένες Πολιτείες (NOAA, 2019).

Το Διάγραμμα 5 δείχνει τον αριθμό των ακραίων κλιματικών γεγονότων, δηλαδή εκείνων που συγκαταλέγονται μεταξύ των πιο ασυνήθιστων ιστορικών ρεκόρ. Παρατηρείται ότι ο αριθμός τους αυξάνεται τις τελευταίες τέσσερις δεκαετίες (πράσινη γραμμή).



Διάγραμμα 5: Δείκτης ClimateExtremesIndex (CEI) ανάετος (1910-2015).  
Πηγή: <https://www.ncdc.noaa.gov/monitoring-references/faq/indicators.php#warming-climate>

## 3.2 Κλιματικά μοντέλα πρόβλεψης

Οι ακριβείς προσδιορισμοί της επίδρασης της κλιματικής αλλαγής στην ποιότητα και την παραγωγική δύναμη του σταφυλιού αποτελούν την ουσιαστική βάση για την ανάπτυξη κατάλληλων προσαρμοστικών απαντήσεων για τη βιομηχανία του οίνου. Η αμπελουργία είναι ένας γεωργικός τομέας που έχει πολύ στενή σχέση με το κλίμα, επειδή η παραγωγή εκλεκτού κρασιού συνδέεται στενά με την έννοια του «terroir». Αυτή η ιδέα περιλαμβάνει την αντιστοίχιση κορυφαίων ποικιλιών αμπέλου με συγκεκριμένους συνδυασμούς κλίματος, τοπίου και εδάφους για την παραγωγή μοναδικών κρασιών συγκεκριμένων μορφών. Οι αλλαγές στο κλίμα θα αλλάξουν αυτά τα terroirs και θα επηρεάσουν ενδεχομένως την ποιότητα των παραγόμενων σταφυλιών (Webb *et al.*, 2008).

Οι παλαιότερες μελέτες αναφέρονται στον αντίκτυπο της κλιματικής αλλαγής στη βιομηχανία οίνου χωρίς λεπτομερή χωροταξική μοντελοποίηση των προβλεπόμενων επιπτώσεων ή προσδιορισμό της αβεβαιότητας πρόβλεψης όπως των Dry (1988), Smart (1989), Schultz (2000), Pincus (2003) και Webb *et al.* (2008).

Οι τρέχουσες αξιολογήσεις των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στην αμπελουργία είναι βασισμένες κυρίως σε παγκόσμια κλιματικά μοντέλα (GCM), τα οποία αποτελούν σε πρώτο στάδιο μία λογική προσέγγιση. Πρόσφατες μελέτες έδειξαν ότι πολλές αμπελουργικές περιοχές μπορεί να έχουν πιο επιτυχημένες ή λιγότερο επιτυχημένες πορείες (κυρίως οι περιοχές παραγωγής οίνου υψηλής ποιότητας) από αυτές που τα κλιματικά μοντέλα έχουν υποδείξει (Stock *et al.*, 2005).

Έχουν παρουσιαστεί αρκετά περιφερειακά/ περιοχικά μοντέλα για το κλίμα (RCMs) για την πρόβλεψη των συνολικών επιπτώσεων των μεμονωμένων ή συνδυασμένων μεταβλητών που σχετίζονται με την κλιματική αλλαγή. Τα περιοχικά μοντέλα καλύπτουν ένα πλέγμα, μία έκταση, 12,5 km x 12,5 km ως 50 km x 50 km.

Ο Stock *et al.* (2005) παρουσίασαν μια μέθοδο για ένα περιοχικό μοντέλο κλίματος (STAR) στο οποίο ελήφθησαν υπόψη η θερμοκρασία του αέρα και άλλες μεταβλητές (όπως βροχόπτωση, σχετική υγρασία, διάρκεια ηλιοφάνειας ανά ημέρα, παγκόσμια ακτινοβολία, άνεμος, πίεση αέρα, ταχύτητα ανέμου και κάλυψη νέφους) καθώς, και ιστορικά αμπελουργικά δεδομένα (ημερομηνίες καλλιέργειας, άνοιγμα οφθαλμών και ανθών, συγκομιδή, απόδοση, ποιότητα και παρουσία παρασίτων). Προέβλεψε ότι στον ευρωπαϊκό χώρο μετά το 2030 θα υπάρξει μία μετακίνηση των αμπελουργικών ζωνών καλλιέργειας σε βορειότερες περιοχές, τα φαινολογικά γεγονότα θα συντελούνται νωρίτερα στο έτος και θα επιταχυνθεί η ανάπτυξη των αμπέλων αλλά και η παρουσία παρασίτων και ασθενειών (Stock

*et al.*, 2005). Χρησιμοποιώντας ένα μοντέλο με βάση τη θερμοκρασία, ο Lebon (2002) υπολόγισε ότι η ωρίμανση σταφυλιών θα πραγματοποιείται νωρίτερα 3-5 εβδομάδες στη νότια Γαλλία με αύξηση 2-4 °C στις θερμοκρασίες ανάπτυξης σε σύγκριση με τους μέσους όρους του 1973-1992 (Mira de Orduna, 2010).

Οι White *et al.* (2006) μοντελοποίησαν την καταλληλότητα των περιοχών στις ΗΠΑ για την παραγωγή οίνου με βάση τα αμπελουργικά δεδομένα που σχετίζονται με τη θερμοκρασία και κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι μέχρι το τέλος του 21<sup>ου</sup> αιώνα οι κατάλληλες περιοχές παραγωγής αμπελουργίας θα μπορούσαν να μειωθούν κατά 81%. Αναμένουν μείωση των ημερών παγετού και αύξηση της συχνότητας εμφάνισης ημερών με υψηλές θερμοκρασίες (> 35 °C) κατά την καλλιεργητική περίοδο, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει ακόμη και στην εξάλειψη της παραγωγής σταφυλιού σε ορισμένες περιοχές των ΗΠΑ, περιορισμό της παραγωγής σταφυλιών και οίνου σε μία στενή ζώνη της Δυτικής Ακτής και σε ορισμένες περιοχές βορειοδυτικά και βορειανατολικά, που σήμερα αντιμετωπίζουν προβλήματα με την υπερβολική υγρασία (White *et al.*, 2006).

Ο Webb *et al.* (2008) μελέτησαν τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στην Αυστραλία. Η κλιματική μεταβολή που επέλεξαν να εξετάσουν ήταν η μέση θερμοκρασία Ιανουαρίου (MJT), ένας δείκτης κλίματος που χρησιμοποιείται συνήθως στην αυστραλιανή βιομηχανία οίνου. Οι προβλέψεις που έγιναν αφορούν αλλαγές αυτής της κλιματικής μεταβλητής και πώς αυτές σχετίζονται με την ποιότητα του παραγόμενου σταφυλιού. Συσχετίζοντας τη μελλοντική θέρμανση του κλιματικού συστήματος με το επίπεδο των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και την ευαισθησία του κλίματος σε αυτές τις εκπομπές, ανέπτυξαν τρία σενάρια για την μελλοντική υπερθέρμανση: υψηλές εκπομπές αερίων και υψηλή ευαισθησία του κλίματος (A1F1), μεσαίες εκπομπές αερίων και μεσαία ευαισθησία (A1B) και χαμηλές εκπομπές με χαμηλή ευαισθησία (B1). Επίσης, σε μία προσπάθεια να μειώσουν την αβεβαιότητα των αποτελεσμάτων τους χρησιμοποίησαν τρία (3) κλιματικά μοντέλα στα οποία χρησιμοποίησαν τα σενάρια A1F1, A1B, B1, όπως φαίνεται στον Πίν. 3.

Με τη βοήθεια των κλιματικών προσομοιώσεων κατέληξαν ότι χωρίς προσαρμογή, η ποιότητα του σταφυλιού μπορεί να μειωθεί σε εθνική κλίμακα στην Αυστραλία μέχρι το έτος 2030 από 7 ως 39% και μέχρι το 2050, από 9 ως 76% (Webb *et al.*, 2008). Οι Hall και Jones (2009) ανέπτυξαν τρία σενάρια για την θέρμανση στην Αυστραλία, με βάση την αύξηση της θερμοκρασίας που αφορά τα έτη 2030, 2050 και 2070. Κατέληξαν ότι αναμένεται άνοδος 1,0 °C το 2030, 1,9 °C το 2050 και 2,7 °C το 2070. Από τις 61 αναγνωρισμένες αμπελουργικές περιοχές της Αυστραλίας βρέθηκε ότι θα κριθούν ακατάλληλες για παραγωγή ποιοτικών σταφυλιών οκτώ περιοχές για το σενάριο του 2030, 12 περιοχές για το σενάριο του 2050 και

21 περιοχές για το σενάριο του 2070, σχεδόν το ένα τρίτο δηλαδή των τρεχουσών περιοχών καλλιέργειας (Hall and Jones, 2009). Επιπλέον, τα Περιφερειακά/ Περιοχικά Κλιματικά Μοντέλα (Regional Climate Models– RCMs) που έχουν αναπτυχθεί προβλέπουν μία μείωση των εκτάσεων που είναι κατάλληλες για καλλιέργεια αμπελιού παγκοσμίως σε ποσοστό από 25% ως 73% ως το 2050 σύμφωνα με το RCP 8,5 και 19% ως 62% σύμφωνα με το RCP 4,5 (Hannah *et al.*, 2013).

Πίνακας 3: Κλιματικά μοντέλα που επιλέχθηκαν από τους Webb *et al.*(2008)

ΚΛΙΜΑΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ	Οριζόντια απόσταση πλέγματος (km)	Επιπλέον πληροφορίες
Συνδυασμένο παγκόσμιο κλιματικό μοντέλο: CSIRO-Mk3	175	<a href="http://www-pcmdi.llnl.gov/ipcc/model_documentation/CSIRO-Mk3.0.htm">www-pcmdi.llnl.gov/ipcc/model_documentation/CSIRO-Mk3.0.htm</a>
Περιοχικό κλιματικό μοντέλο: DARLAM 125 km	25	Περιοχικό μοντέλο που οριοθετείται από το CSIRO-Mk3
Σύζευξη παγκόσμιου κλιματικού μοντέλου: HadCM3	275	<a href="http://www-pcmdi.llnl.gov/ipcc/model_documentation/HadCM3.htm">http://www-pcmdi.llnl.gov/ipcc/model_documentation/HadCM3.htm</a>

Πηγή: Webb *et al.* (2008)

## 4 Κλιματική αλλαγή και ποιότητα σταφυλιών

### 4.1 Εισαγωγικά στοιχεία

Σήμερα, η συντριπτική πλειοψηφία της επιστημονικής κοινότητας παραδέχεται την πραγματικότητα της κλιματικής αλλαγής. Για παράδειγμα, η κλιματική αλλαγή στην περιοχή της Μεσογείου σχετίζεται με αυξημένη θερμοκρασία και αυξημένη συγκέντρωση ατμοσφαιρικού διοξειδίου του άνθρακα και ξηρασία. Η αμπελουργία είναι ένας γεωργικός τομέας που έχει πολύ στενή σχέση με το κλίμα, επειδή η παραγωγή εκλεκτού κρασιού σχετίζεται στενά με την έννοια του «terroir». Όπως όλα τα άλλα γεωργικά προϊόντα, τα σταφύλια είναι ευαίσθητα στο κλίμα και τις βραχυπρόθεσμες καιρικές συνθήκες. Η γενική σύνθεση, το άρωμα και οι φαινολικές ενώσεις που συνθέτουν τον οργανοληπτικό χαρακτήρα θα επηρεαστούν από αυτήν την αλλαγή. Αυτοί οι σημαντικοί παράγοντες που επηρεάζουν έντονα τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των σταφυλιών και των κρασιών παίζουν θεμελιώδη ρόλο στις προτιμήσεις των καταναλωτών. Η μεταβολή του κλίματος και οι επακόλουθες αλλαγές στα πρότυπα καιρού και τα επίπεδα διοξειδίου του άνθρακα μπορεί να προκαλέσουν αλλαγές στη χημεία σταφυλιών και την προκύπτουσα ποιότητα του κρασιού (Karaoglan, 2018).

Το αμπέλι αναπτύσσεται σε ευρεία κλιματική ζώνη στον κόσμο, ενώ αυτή η ζώνη είναι περιορισμένη για ορισμένα σταφύλια οινοποίησης. Οι πιο δημοφιλείς αμπελουργικές περιοχές βρίσκονται μεταξύ του 35<sup>ου</sup> και του 50<sup>ου</sup> παραλλήλου στο Βόρειο Ημισφαίριο, του 30<sup>ου</sup> και του 45<sup>ου</sup> παραλλήλου στο Νότιο Ημισφαίριο. Οποιαδήποτε αλλαγή στο κλίμα και στις τοπικές καιρικές συνθήκες θα επηρεάσει πιθανώς τη βιομηχανία οίνου, η οποία παρέχει σημαντικά οικονομικά οφέλη για αυτές τις περιοχές. Λαμβάνοντας υπόψη ότι οι μικρές αλλαγές στις εποχιακές θερμοκρασίες μπορεί να δημιουργήσουν τη διαφορά μεταξύ μιας φτωχής, καλής ή τέλει χρονιάς, μπορεί να γίνει κατανοητό πόσο σημαντικές είναι οι συνέπειες. Υπάρχουν ορισμένοι ισχυρισμοί στη βιβλιογραφία ότι οι περιοχές παραγωγής κρασιού Premium θα στραφούν προς τους πόλους ως συνέπεια της υπερθέρμανσης του πλανήτη. Πολλές από τις ζώνες που θεωρούνται ιδανικές για την ανάπτυξη ορισμένων ειδών αμπέλου θα χάσουν την καταλληλότητά τους και οι περιοχές που είναι πιο κοντά στους πόλους θα γίνουν πιο δημοφιλείς ζώνες παραγωγής. Τα τελευταία χρόνια, πολλές δημοσιεύσεις αναφέρουν ότι οι ιδιοκτήτες οινοποιείων από την περιοχή Champagne, η οποία διαθέτει έναν καθιερωμένο οικισμό, ενδιαφέρονται να αγοράσουν γη από τις βορειότερες περιοχές, ειδικά από το Ηνωμένο Βασίλειο (Karaoglan, 2018).

Σύμφωνα με τον Parker De Cortazar-Atauri (2011) τα στάδια φαινολογικής ανάπτυξης της αμπέλου (βλάστηση, ανθοφορία, καρπόδεση, ωρίμανση) μετατοπίζονται νωρίτερα από το κανονικό λόγω της κλιματικής αλλαγής (Karaoglan, 2018). Ο μεταβολισμός όμως των σταφυλιών και η ποιότητα του γλεύκους επηρεάζονται τόσο από την έναρξη όσο και από τη διάρκεια των φαινολογικών σταδίων. Στην εύκρατη ζώνη του βόρειου ημισφαιρίου, η περίοδος ωρίμανσης είναι συνήθως το Σεπτέμβριο, όταν οι μέρες είναι ακόμα ζεστές και οι νύχτες είναι δροσερές. Σε τέτοια κλίματα, οι πρώιμες ημερομηνίες ωρίμανσης των καρπών υπό συνθήκες υψηλής θερμοκρασίας, ενδέχεται να έχουν αρνητικό αντίκτυπο στην ποιότητά του (Venios *et al.*, 2020). Οι υψηλότερες θερμοκρασίες επηρεάζουν τόσο τους πρωτογενείς όσο και τους δευτερογενείς μεταβολίτες και συνεπάγονται την υπερβολική ωρίμανση του καρπού με χαμηλή οξύτητα, ειδικά ως προς μηλικό οξύ, υψηλή σακχαροπεριεκτικότητα και το σχηματισμό αρωματικού και γευστικού χαρακτήρα μαγειρεμένων φρούτων. Το κρασί που παράγεται από αυτά τα σταφύλια με υψηλότερη σακχαροπεριεκτικότητα από το κανονικό θα έχει και υψηλότερο αλκοολικό τίτλο από τον κανονικό και αυτό θα επηρεάσει τον οργανοληπτικό του χαρακτήρα στο τέλος. Τα κρασιά, επίσης, που λαμβάνονται από σταφύλια με χαμηλότερο επίπεδο οξύτητας από το κανονικό, είναι τόσο ασταθή μικροβιολογικά όσο και πάσχουν από έλλειψη ισορροπημένης γεύσης. Επίσης, η οξύτητα είναι σημαντική για τη φρεσκάδα του κρασιού. Αυτές οι εκτιμήσεις έχουν ήδη αρχίσει να πραγματοποιούνται. Οι Van Leeuwen και Darriet (2016) ανέφεραν ότι το πιθανό επίπεδο αλκοόλης έχει αυξηθεί κατά 2%, η ολική οξύτητα έχει μειωθεί κατά 1 g τρυγικού/ L και το pH έχει αυξηθεί κατά 0,2 μονάδες τα τελευταία 30 χρόνια (Karaoglan, 2018; Arrizabalag-Arriazu *et al.*, 2020; Venios *et al.*, 2020).

Τα αποτελέσματα δεν σχετίζονται μόνο με την αύξηση της θερμοκρασίας, αλλά και με την αύξηση του ατμοσφαιρικού διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>), την αυξημένη ακτινοβολία και τις διαδικασίες καλλιέργειας που παραδοσιακά εφαρμόζονται στην άμπελο στην κάθε περιοχή. Απαιτείται περαιτέρω έρευνα σχετικά με τις επιπτώσεις αυτών των παραγόντων στη σύνθεση σταφυλιών (Karaoglan, 2018).

Έτσι, η κλιματική αλλαγή συνδέεται με τις ατμοσφαιρικές αυξήσεις του CO<sub>2</sub>, τις αυξημένες θερμοκρασίες, την αύξηση της ακτινοβολίας και την έλλειψη διαθεσιμότητας νερού, περιορίζοντας σοβαρά την απόδοση και την ποιότητα των καλλιεργειών, ειδικά στην περιοχή της Μεσογείου (Karaoglan, 2018). Οι μελέτες για την επίδραση πολλαπλών παραγόντων καταπόνησης που συνδέονται με την κλιματική αλλαγή στην ανάπτυξη και τη σύνθεση σταφυλιών παραμένουν περιορισμένες σε αριθμό λόγω της πολυπλοκότητάς τους. Ωστόσο, είναι γεγονός ότι στο μέλλον, τα φυτά θα εκτίθενται ταυτόχρονα σε περισσότερους

από ένα παράγοντες της κλιματικής αλλαγής. Οι συνέπειες από αυτή τη συνδυαστική έκθεση πρέπει να μελετηθούν, καθώς δεν έχουν πάντα προσθετικό χαρακτήρα (Azzirabala-Arriazu *et al.*, 2020).

## 4.2 Ημερομηνία συγκομιδής

Τα τελευταία χρόνια, σε διάφορες περιοχές στον κόσμο το άνοιγμα των οφθαλμών, η ανθοφορία και η έναρξη της ωρίμανσης των σταφυλιών πραγματοποιείται πρωιμότερα, με αποτέλεσμα και η συγκομιδή (τρύγος) να πραγματοποιείται νωρίτερα. Αρχαικές πληροφορίες παραδοσιακών οινοποιείων, που σε ορισμένες περιπτώσεις φτάνουν εκατοντάδες χρόνια πίσω, επιβεβαιώνουν την ύπαρξη αυτών των τάσεων και στο παρελθόν, ωστόσο σημειώνεται ότι απαιτήθηκαν μεγαλύτερες χρονικές περιόδους για να επιτευχθεί παρόμοια μεταβολή. Τις τελευταίες δεκαετίες αυτό που προβληματίζει είναι η επιτάχυνση αυτών των τάσεων. Πληροφορίες από το κάστρο Johannisberg (Rheingau, Γερμανία) δείχνουν ότι η πρώτη ημέρα της συγκομιδής πραγματοποιείται κατά μέσο όρο 2-3 εβδομάδες νωρίτερα από ό, τι ήταν στα τέλη του 18<sup>ου</sup> αιώνα και στις αρχές του 20<sup>ου</sup> αιώνα (Stock *et al.*, 2005). Ο Ganichot (2002) παρατήρησε ημερομηνίες συγκομιδής που ήταν 18 και 21 ημέρες νωρίτερα σε σύγκριση με την περίοδο από το 1945 έως το 2000 για το Chateauneuf du Pape και το Tavel (νότια Γαλλία), αντίστοιχα (Mira de Orduna, 2010).

Στην Αλσατία (ανατολική Γαλλία), οι μέσες ετήσιες θερμοκρασίες αυξήθηκαν 1,8 °C από το 1972 έως το 2002 και αυτή η αύξηση ήταν ιδιαίτερα σημαντική κατά τη φάση ωρίμανσης. Το 2002, υπήρχαν 33 ακόμη ημέρες με μέση ημερήσια θερμοκρασία πάνω από 10 °C σε σύγκριση με το 1972 και η συγκομιδή ήταν 2 εβδομάδες νωρίτερα (Duchêne and Schneider, 2005). Στο Μπάντεν (νοτιοδυτική Γερμανία), οι μέσες ετήσιες θερμοκρασίες των τελευταίων 10 ετών ήταν 1,2 °C υψηλότερες από τον μέσο όρο του 1961-1990. Οι μέσες ημερομηνίες για την έναρξη της ωρίμανσης του Pinot Noir στο Baden είχαν προχωρήσει κατά 3 εβδομάδες από το 1976 έως το 2006. Στο Παλατινάτο της Γερμανίας, οι μέσες ετήσιες θερμοκρασίες αυξήθηκαν κατά 1,2 °C από το 1970 έως το 2005 και η συγκομιδή παρατηρήθηκε κατά 2 εβδομάδες νωρίτερα (Mira de Orduna, 2010).

Οι ημερομηνίες συγκομιδής σε σημαντικό βαθμό, βασίζονται σε υποκειμενικές αξιολογήσεις της βέλτιστης σύνθεσης των σταφυλιών. Για τον κάθε αμπελουργό ο προσδιορισμός της ημερομηνίας του τρύγου πραγματοποιείται με κριτήρια που σχετίζονται με τις τεχνικές που έχει υιοθετήσει ο ίδιος, από την παράδοση αλλά και τις νέες τάσεις που εμφανίζονται, όπως και αν το σταφύλι προορίζεται για οινοποίηση ή επιτραπέζια χρήση, από

τους εμπορικούς στόχους που έχουν τεθεί, τους περιορισμούς της αγοράς και την ικανότητα επεξεργασίας της πρώτης ύλης, το διαθέσιμο εργατικό δυναμικό και άλλους παράγοντες. Τα τελευταία χρόνια εκτός της παραδοσιακής μέτρησης των τεχνολογικών μεταβλητών, δηλαδή των επιπέδων σακχάρων και οξέων (τεχνολογική ωριμότητα), υπήρξε μια σαφής τάση ο τρύγος να πραγματοποιείται, ειδικά για ορισμένες οινοποιήσιμες ποικιλίες, όταν η συγκέντρωση των αρωματικών ή των πολυφαινολικών ενώσεων του σταφυλιού έφταναν ένα βέλτιστο (πολυφαινολογική ωριμότητα). Η πολυφαινολική ωριμότητα συνήθως συνεπάγεται καθυστέρηση του τρύγου. Ωστόσο, παρά αυτήν την τάση αναμονή, η ωρίμανση των σταφυλιών και η συγκομιδή πραγματοποιείται νωρίτερα από ότι στις αρχές του αιώνα (Mira de Orduna, 2010).

## 4.3 Ωρίμανση σταφυλιών

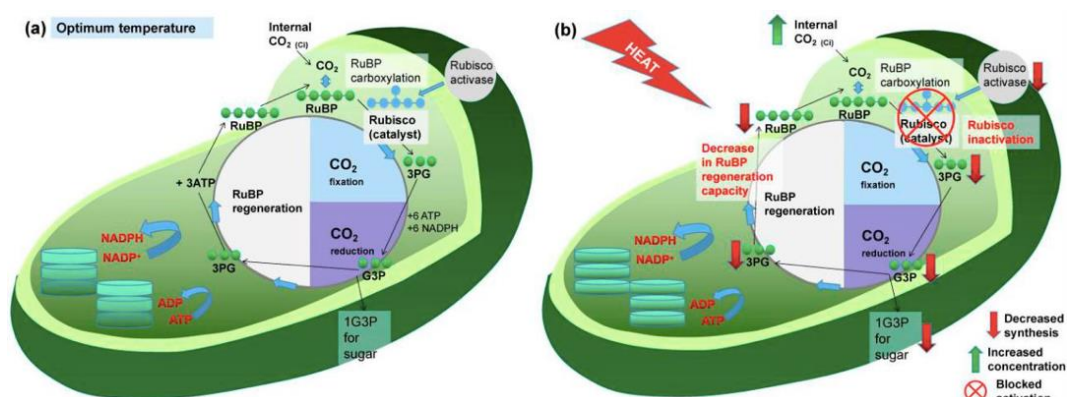
### 4.3.1 Επίδραση της θερμοκρασίας

Η ανάπτυξη των φυτών, καθώς και πολλές αναπτυξιακές διαδικασίες επηρεάζονται έντονα από τις διακυμάνσεις της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος. Κάθε είδος έχει ένα προτιμώμενο εύρος θερμοκρασίας, το οποίο αντιπροσωπεύεται από τις βέλτιστες, μέγιστες και ελάχιστες τιμές. Οι ακραίες θερμοκρασίες είναι από τους πιο σημαντικούς περιοριστικούς παράγοντες για την κατανομή των αμπέλων. Κατά τη διάρκεια της θερμικής πίεσης, η θερμοκρασία περιβάλλοντος αυξάνεται πάνω από το κατώτατο όριο ανοχής στα φυτά και, όταν είναι ακραίο ή μακράς διάρκειας, μπορεί να προκαλέσει μη αναστρέψιμη ζημιά (Venios *et al.*, 2020).

Τα αμπέλια αντιμετωπίζουν συχνά θερμικό στρες κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου που διαταράσσει την ομοιόσταση των κυττάρων και μπορεί να επηρεάσει τη σωστή ανάπτυξη και το μεταβολισμό των φρούτων και κατά συνέπεια να ασκήσει περιορισμούς στην απόδοση και την ποιότητα των σταφυλιών. Αν και το αμπέλι έχει καλή ικανότητα προσαρμογής σε διάφορες περιβαλλοντικές πιέσεις, οι μακροχρόνιες εξαιρετικά υψηλές θερμοκρασίες ή κύματα καύσωνα μπορεί να επηρεάζουν μόνιμα χαρακτηριστικά απόδοσης και της φυσιολογίας αμπέλου. Λόγω των επερχόμενων κλιματικών αλλαγών, η γνώση των αντιδράσεων της αμπέλου στο θερμικό στρες έχει ιδιαίτερη σημασία για τη βιωσιμότητα της αμπελουργίας και ένα από τα πιο σημαντικά θέματα στη βιολογία της αμπέλου (Venios *et al.*, 2020).



Η κλιματική αλλαγή συνεπάγεται υψηλότερες μέσες θερμοκρασίες σε όλη τη διάρκεια του έτους. Η αυξημένη μέση θερμοκρασία διαδοχικά συνεπάγεται πρωιμότερη περίοδο κατά την οποία επιτυγχάνονται οι ελάχιστες θερμοκρασίες που απαιτούνται για τη φυσιολογική δραστηριότητα των πρέμνων, και ως εκ τούτου, αυξάνουν τους μεταβολικούς ρυθμούς του φυτού και επηρεάζουν τη συσσώρευση μεταβολιτών. Αυτό ισχύει εντός ορισμένων ορίων, καθώς για θερμοκρασίες άνω των 25 °C, η φωτοσυνθετική δραστηριότητα μειώνεται ακόμη και σε συνεχή έκθεση στον ήλιο. Σε τόσο υψηλές θερμοκρασίες, έχει αναφερθεί ότι έχει συμβεί αντικατάσταση του αμύλου από λιπίδια σε χλωροπλάστες φύλλων σε πρέμνα (Mira de Orduna, 2010). Σε θερμοκρασίες πάνω από 30 °C, το μέγεθος και το βάρος των ραγών μπορούν να μειωθούν και οι μεταβολικές διαδικασίες μπορεί να επιβραδυνθούν (Mira de Orduna, 2010). Σε θερμοκρασίες άνω των 35 °C, ενεργοποιούνται μηχανισμοί εγκλιματισμού στη θερμότητα. Εξαιρετικά υψηλές θερμοκρασίες, δηλαδή πάνω από 40 °C, έχουν δραστικά αποτελέσματα στη φωτοσύνθεση κυρίως λόγω της διακοπής της φωτοσυνθετικής συσκευής (Venios *et al.*, 2020) (Εικόνα 1).



Εικόνα 1: (a) Η λειτουργία του χλωροπλάστη κάτω από βέλτιστες συνθήκες θερμοκρασίας (b) διαταραχές σημαντικών βιοχημικών διεργασιών του χλωροπλάστη κάτω από συνθήκες θερμικού stress.  
Πηγή : Venios *et al.*, 2020

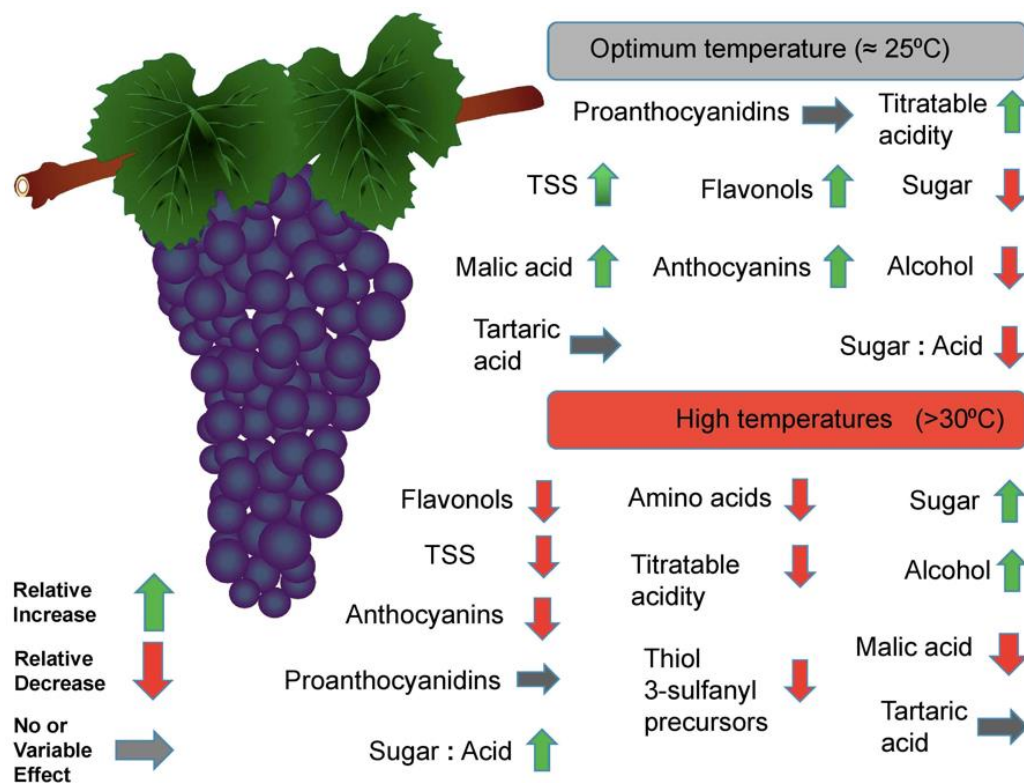
Σημειώνεται ότι εκτός από την αύξηση της θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας λόγω της κλιματικής μεταβολής, η έκθεση του καρπού στην ηλιακή ακτινοβολία, η οποία μπορεί να τροποποιηθεί με αμπελουργικές πρακτικές, έχει αποδειχθεί ότι οδηγεί σε σημαντικά υψηλότερες θερμοκρασίες σταφυλιών (5-13 °C υψηλότερες) σε σύγκριση με τα σκιασμένα σταφύλια στην ίδια άμπελο (Sprayd *et al.*, 2002). Έχουν καταβληθεί μεγάλες προσπάθειες για διάκριση μεταξύ αυτών των παραγόντων σε μερικές μελέτες.

Η χημική σύνθεση της ράγας του σταφυλιού είναι αρκετά περίπλοκη που περιλαμβάνει αρκετές εκατοντάδες διαφορετικές ενώσεις, κυρίως νερό, ζυμώσιμα σάκχαρα, οργανικά οξέα,

αζωτούχες ενώσεις, μέταλλα, πηκτίνες, φαινολικές ενώσεις και αρωματικές ενώσεις. Οι αυξημένες θερμοκρασίες διαταράσσουν διάφορες μεταβολικές οδούς με αποτέλεσμα τις μεταβολές στη βιοσύνθεση των βασικών ενώσεων που είναι κρίσιμα για την ποιότητα του γλεύκους των σταφυλιών (Venios *et al.*, 2020) (Εικόνα 2).

Αν και οι υψηλές θερμοκρασίες επιταχύνουν την ωρίμανση των σταφυλιών, οι επιπτώσεις της θερμοκρασίας στην τελική ποσότητα σακχάρου αναφέρονται σχετικά μικρές. Οι υψηλότερες θερμοκρασίες (άνω των 30 °C) μπορεί να οδηγήσουν σε υψηλότερες συγκεντρώσεις διαλυτών στερεών (°Brix), αλλά όταν υπερβαίνουν τα 24-25 Brix, πιθανότατα αυτό δεν οφείλεται στη φωτοσύνθεση και τη μεταφορά σακχάρων από τα φύλλα και τους βλαστούς, αλλά σε αυξημένη συγκέντρωση των στερεών συστατικών λόγω αυξημένης εξάτμισης του νερού της ράγας που οδηγεί σε μείωση του όγκου της (Keller, 2010). Ως εκ τούτου, οι εξαιρετικά υψηλές συγκεντρώσεις σακχάρων που επιτυγχάνονται σήμερα κατά τη συγκομιδή, ειδικά σε θερμά κλίματα, μπορεί να σχετίζονται μάλλον με την επιθυμία βελτιστοποίησης της πολυφαινολικής ή και αρωματικής ωριμότητας που οδηγεί στην καθυστέρηση του τρύγου και στην έκθεση του καρπού σε υψηλές θερμοκρασίες για μεγαλύτερο διάστημα (Mira de Orduna, 2010).

Η επίδραση της θερμοκρασίας στα αμινοξέα θεωρείται μικρή με εξαίρεση την προλίνη, η οποία σε υψηλότερες θερμοκρασίες είχε υψηλότερη συγκέντρωση (Buttrose *et al.*, 1971).



Εικόνα 2: Σύνοψη των επιπτώσεων του θερμικού stress στους μεταβολίτες του σταφυλιού. Πηγή: Venios *et al.* (2020)

Η αύξηση της θερμοκρασίας κατά τα στάδια ωρίμανσης του σταφυλιού φαίνεται να επηρεάζει σημαντικά την οξύτητα. Ενώ το κύριο οξύ σταφυλιού, το τρυγικό οξύ διατηρεί μία σχετικά σταθερή συγκέντρωση σε σχέση με τις επιδράσεις της θερμοκρασίας, τα επίπεδα μηλικού οξέος εξαρτώνται στενά από την ωριμότητα και τη θερμοκρασία και μειώνονται με υψηλότερες θερμοκρασίες (Buttrose *et al.*, 1971; Mira de Orduna, 2010; Karaoglan, 2018).

Το μηλικό οξύ παράγεται στα πράσινα μέρη του φυτού, φύλλα και βλαστοί, και αποτελεί το προϊόν δευτερογενούς αντίδρασης της φωτοσύνθεσης. Φθάνει τη μέγιστη συγκέντρωση του λίγο πριν τον περκασμό. Κατά τη διάρκεια της ωρίμανσης διασπάται και η συγκέντρωση του στην ράγα μειώνεται. Στους 20-25 °C ευνοείται η αποθήκευση του μηλικού στη ράγα. Σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες, κυρίως όταν υπερβαίνουν τους 40 °C τα ένζυμα που συμμετέχουν στις βιοχημικές οδούς διάσπασης μηλικού οξέος στο σταφύλι παρουσιάζουν αύξηση της δραστηριότητάς τους, γεγονός που οδηγεί και σε μείωση του παραγόμενου οξέος (Κουράκου, 1998; Venios *et al.*, 2020).

Τα χαμηλότερα επίπεδα οξύτητας συνήθως συσχετίζονται επίσης με υψηλότερο pH των σταφυλιών, αν και η σχέση επηρεάζεται από τη συσσώρευση καλίου, η οποία εξαρτάται επίσης, ως ένα βαθμό, από τη θερμοκρασία. Η περιεκτικότητα σε K<sup>+</sup> στα σταφύλια αυξήθηκε σταθερά τις τελευταίες δεκαετίες, εν μέρει λόγω της αλλαγής του κλίματος. Συγκεκριμένα, παρατηρήθηκε ότι κατά τη διάρκεια της ωρίμανσης των σταφυλιών, τα επίπεδα καλίου αυξήθηκαν σημαντικά στη ράγα, γεγονός που οδηγεί σε μεγαλύτερη εξουδετέρωση των οργανικών οξέων και αντίστοιχη αύξηση του pH. Η εξήγηση της αύξησης της συγκέντρωσης του καλίου στη ράγα θεωρείται ότι συνδέεται με φαινόμενα υδατικού στρες. Η αύξηση της θερμοκρασίας συνεπάγεται την εντονότερη απώλεια νερού από το φυτό λόγω εντονότερων φαινομένων εξατμισοδιαπνοής και αναπνοής, καθώς και ταυτόχρονη πιο έντονη εξάτμιση του νερού από το έδαφος, τα οποία οδηγούν σε πιο έντονη μετακίνηση των υγρών προς τη ράγα από τα διάφορα μέρη του φυτού. Συστήματα μεταφοράς K<sup>+</sup> και μοριακοί ρυθμιστές (γονίδια) εμπλέκονται στη συσσώρευση του K<sup>+</sup> στις ράγες και αποτελούν αντικείμενο μελέτης για αρκετούς σύγχρονους ερευνητές (Villete *et al.*, 2020). Εκτός από τα σάκχαρα, τα οξέα και το κάλιο, οι υψηλότερες θερμοκρασίες τροποποιούν επίσης τη συσσώρευση άλλων ενώσεων στη ράγα που είναι ποσοτικά λιγότερο σημαντικές αλλά έχουν μεγάλη σημασία, ιδιαίτερα για το χρώμα και το άρωμα των σταφυλιών που προορίζονται για οινοποίηση.

Ενώ οι χαμηλές θερμοκρασίες (14 °C ημέρα / 9 °C νύχτα) δεν ευνοούν τις μεγάλες συγκεντρώσεις ανθοκυανών στη ράγα, οι θερμοκρασίες 30 °C και άνω οδηγούν επίσης σε χαμηλότερη σύνθεση ανθοκυανίνης (Tarara *et al.*, 2008). Σε υψηλότερες ακόμη θερμοκρασίες, η παραγωγή των ανθοκυανινών μπορεί να ανασταλεί πλήρως και

ανεπανόρθωτα, όπως έδειξε ο Kliewer (1977) για την ποικιλία Emperor σε θερμοκρασίες 37 °C ημερών ανεξάρτητα από την έκθεση στο φως (Kliewer, 1977). Προτείνεται ότι σε θερμά κλίματα, η θερμοκρασία της ράγας μπορεί συχνά να φθάσει σε επίπεδα που αναστέλλουν το σχηματισμό ανθοκυανινών, παρεμποδίζοντας τη δράση ορισμένων βασικών ενζύμων, και ως εκ τούτου μειώνει το χρώμα των σταφυλιών. Η αύξηση της μέσης θερμοκρασίας επηρεάζει διαφορετικά κάθε ανθοκυανίνη με αποτέλεσμα σε μία ποικιλία σταφυλιών, εκτός από τα επίπεδα τους να μεταβάλλεται σημαντικά και η αναλογία τους στη ράγα. Οι υψηλότερες θερμοκρασίες έχουν συσχετιστεί με αυξημένο σχηματισμό παραγώγων μαλβιδίνης, πετουνιδίνης και δελφινιδίνης (Delphinidin-3-(p-coumaroyl)-rutinoside-5-glucoside) (Mira de Orduna, 2010). Ωστόσο, οι Tarara *et al.* (2008) διαπίστωσαν ότι σε πιο υψηλές θερμοκρασίες παρουσιάστηκαν μειώσεις των περισσότερων ανθοκυανινών του σταφυλιού της ποικιλίας Merlot που εκτέθηκαν στον ήλιο εκτός από τα παράγωγα της μαλβιδίνης παραμένουν ανεπηρέαστα. Οι συγγραφείς τόνισαν την πολυπλοκότητα της συνδυασμένης ηλιακής ακτινοβολίας και των επιδράσεων της θερμοκρασίας στη σύνθεση των φλαβονοειδών (Tarara *et al.*, 2008).

Οι προανθοκυανίνες που περιέχονται στο φλοιό των σταφυλιών και στα γίγαρτα είναι σημαντικές για τη στυφή γεύση του κόκκινου κρασιού. Αρκετές μελέτες έχουν δείξει μια θετική σχέση μεταξύ της θερμοκρασίας και του αριθμού των γιγάρτων ή των συνολικών επιπέδων προανθοκυανίνης ανά ράγα κατά τη συγκομιδή. Παρόμοια αποτελέσματα έχουν αναφερθεί σε σταφύλια που εκτίθενται στον ήλιο επαναλαμβάνοντας τη σημασία της διάκρισης μεταξύ των επιπτώσεων της ακτινοβολίας και της θερμοκρασίας. Θα πρέπει επίσης να ληφθεί υπόψη ότι οι πρακτικές οινοποίησης μπορούν να μεταβάλουν σε μεγάλο βαθμό την εξαγωγή των φαινολικών σταφυλιών στο κρασί (Tarara *et al.*, 2008).

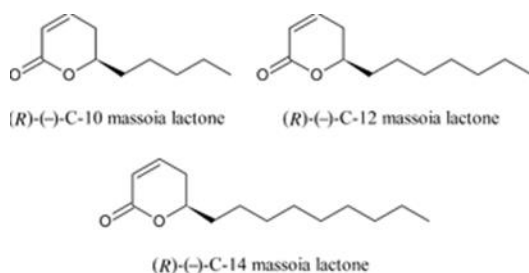
Το άρωμα είναι ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες που καθορίζουν την προτίμηση των καταναλωτών, ειδικά στον οίνο. Η πρακτική εμπειρία δείχνει ότι τα αρώματα λευκών οίνων, όπως το Gewürztraminer, το Sauvignon Blanc, το Riesling, αναπτύσσονται ευνοϊκότερα σε δροσερά κλίματα, όπου η περίοδος ωρίμανσης έχει μεγαλύτερη διάρκεια και πιο αργό ρυθμό (Duchêne and Schneider, 2005; Karaoglan, 2018). Παραδείγματα κατηγοριών αρωματικών ενώσεων που επηρεάζονται από τις κλιματολογικές συνθήκες είναι τα ισοπρενοειδή (λαμβάνονται με χημική ή ενζυμική αποικοδόμηση καροτενοειδών στα σταφύλια) και οι πυραζίνες. Η έκθεση στον ήλιο είναι απαραίτητη για τη συσσώρευση μονοτερπενίων, τα οποία προσδίδουν αρώματα μπαχαρικών, φρουτώδη και ανθέων. Αρκετές μελέτες έδειξαν ότι, σε ισοδύναμες συγκεντρώσεις σακχάρου, οι υψηλότερες θερμοκρασίες οδήγησαν σε χαμηλότερα επίπεδα αρωματικών ενώσεων σε λευκές ποικιλίες σταφυλιών

μειώνοντας έτσι δυνητικά την αρωματική ένταση. Αντίθετα, οι υψηλές θερμοκρασίες έχουν συσχετιστεί με την αύξηση του σχηματισμού 1,1,6-τριμεθυλο-1,2-διϋδρόναφθαλινίου (TDN), το οποίο μπορεί να προσδώσει υπερβολικά ισχυρές νότες κηροζίνης ή βενζίνης στο Riesling, καθώς και άλλα C<sub>13</sub>νορισοπρενοειδή. (Mira de Orduna, 2010; Karaoglan, 2018).

Υπάρχουν επίσης ορισμένες μελέτες που δίνουν αντίθετα αποτελέσματα για κάποιες από τις ενώσεις της οικογένειας των τερπενολών, όπως είναι η λιναλοόλη και η γερανιόλη (Εικόνα 3). Για παράδειγμα, υποστηρίζεται από τους Van Leeuwen and Darriet (2016) ότι η περιεκτικότητα σε λιναλόλη στα σταφύλια μειώνεται σε υψηλές θερμοκρασίες, αλλά δεν αναφέρεται αρνητική επίδραση στην περιεκτικότητα σε γερανιόλη (Karaoglan, 2018).



Εικόνα 3: Λιναλοόλη (αριστερά) και γερανιόλη (δεξιά)



Εικόνα 4: Χημική δομή massoia lactone  
Πηγή:  
<https://www.researchgate.net/publication/342110202/figure/fig2/42110202>

Η massoia lactone (5,6- διυδρο-6-πεντυλο-2 (2H) -πυρανόνη) είναι το τυπικό άρωμα του σύκου και της καρύδας και μπορεί να βρεθεί σε κρασιά που παράγονται από υπερβολικά ώριμους καρπούς. Σύμφωνα με τους Pons *et al.* (2011) σε υψηλότερες θερμοκρασίες στα κρασιά του Pomerol οι συγκεντρώσεις της massoia lactone ήταν υψηλότερες (Karaoglan, 2018) (Εικόνα 4).

Οι μεθοξυπυραζίνες (MPs) μπορεί να είναι υπεύθυνες για αρώματα όπως φυτικά, ποώδη ή πιπεριά και είναι χαρακτηριστικά για ορισμένες ποικιλίες, όπως το Cabernet Sauvignon και το Sauvignon Blanc, αλλά μπορεί σε υψηλές συγκεντρώσεις να είναι ανεπιθύμητα. Οι Scarlet *et al.* (2014) ανέφεραν ότι η αύξηση της θερμοκρασίας μειώνει τις συγκεντρώσεις των μεθοξυπυραζινών, ιδίως την ποσότητα της 2-μεθοξυ-3-ισοβουτυλοπυραζίνης (IBMP), η οποία είναι χαρακτηριστική ένωση της ποικιλίας Carmenère και του οίνου Merlot. Μελέτες αναφέρουν επίσης ότι η ποσότητα Rotundone, που είναι υπεύθυνη για τα χαρακτηριστικά αρώματα πιπεριού στα κρασιά Syrah, μειώνεται με τη θερμοκρασία. Μία ανεπιθύμητη αρωματική ένωση είναι η ο-αμινοακετοφαινόνη η οποία θυμίζει το άνθος της ακακίας, το

μοσχοκάρυδο ή το βερνίκι. Η ποσότητά της σχετίζεται με την αύξηση της θερμοκρασίας και είναι χαρακτηριστικό άρωμα των πρόωρα γερασμένων οίνων (Karaoglan, 2018).

### 4.3.2 Επίδραση του διοξειδίου του άνθρακα

Οι συγκεντρώσεις του ατμοσφαιρικού CO<sub>2</sub> έχουν αυξηθεί από την περίοδο της βιομηχανικής επανάστασης μέχρι σήμερα και προβλέπεται να αυξηθούν περαιτέρω. Οι αλλαγές στη συγκέντρωση CO<sub>2</sub> στην ατμόσφαιρα έχουν τη δυνατότητα να αλλάξουν τόσο τη φυσιολογική λειτουργία όσο και την ανάπτυξη των φυτών. Η άμπελος επηρεάζεται από την έκθεση σε υψηλές θερμοκρασίες και ακτινοβολία. Ωστόσο, η ανάπτυξη και η απόδοση της μπορούν να επηρεαστούν και από την αύξηση της συγκέντρωσης του ατμοσφαιρικού CO<sub>2</sub>, καθώς η φωτοσύνθεση και η ανάπτυξη διεγείρονται από τις συγκεντρώσεις αυτές. Έτσι, δημιουργήθηκε η ανάγκη να μελετηθεί η ευαισθησία της αμπέλου στο CO<sub>2</sub> (Bindi *et al.*, 2001).

Οι Zhao *et al.* (2019) επιβεβαίωσαν στην έρευνα τους ότι η φωτοσύνθεση σε *in vitro* καλλιέργεια φυτών σταφυλιών προωθείται με αυξημένη συγκέντρωση CO<sub>2</sub>. Αυτή η τροποποίηση όμως των φωτοσυνθετικών διαδικασιών μπορεί να επηρεάσει άμεσα τον πρωτογενή και δευτερογενή μεταβολισμό των φυτών, οδηγώντας έτσι σε σημαντικές αλλαγές στη σύνθεση των φρούτων (Azzirabala-Arriazu *et al.*, 2020).

Σύμφωνα με τον Schultz (2000), η αύξηση του διοξειδίου του άνθρακα σε συνδυασμό με την αύξηση της θερμοκρασίας και η μεταβολή της σχετικής υγρασίας μπορεί να οδηγήσει σε αύξηση της βιομάζας, συσσώρευση σακχάρων και άρα και αύξηση του δυναμικού αλκοολικού τίτλου και σε μείωση της οξύτητας. Όλες αυτές οι μεταβολές μπορεί να αλλάξουν εντελώς το άρωμα και τη γεύση του σταφυλιού. Επίσης, ο Tate (2001) υποστήριξε ότι η αύξηση του ατμοσφαιρικού επιπέδου του CO<sub>2</sub> μπορεί να οδηγήσει σε ανάπτυξη παχύτερου φλοιού και σε υψηλότερη συγκέντρωση τανίνης (Karaoglan, 2018).

Μεταξύ των υπαρχουσών μεθόδων για την ανάλυση των επιπτώσεων του αυξημένου CO<sub>2</sub> στην ανάπτυξη των φυτών (θάλαμος ανάπτυξης, θερμοκήπιο, θάλαμοι ανοιχτού τύπου κ.λπ.), η προσέγγιση Free Air CO<sub>2</sub> Enrichment (FACE) είναι η πιο κατάλληλη, δεδομένου ότι επιτρέπει μελέτες φυτών υπό ρεαλιστικές συνθήκες πεδίου (Bindi *et al.*, 2001).

Μία τέτοια μελέτη διεξήχθη από τους Bindi, Fibibi, Gozzini, Orlandini, και Seghi σε φυτεία αμπέλου 20 ετών της ποικιλίας Sangiovese κατά τα έτη 1996 και 1997. Το πείραμα έλαβε χώρα σε αμπελώνα κοντά στο Rapolano (Ιταλία), όπου υπήρχε διαθεσιμότητα μεγάλων ποσοτήτων καθαρού γεωλογικού CO<sub>2</sub>. Εφαρμόστηκαν συγκεντρώσεις 550 και 700 μmol/mol.



Διαπιστώθηκε ότι οι συγκεντρώσεις οξέων και σακχάρων επηρεάστηκαν από τη συγκέντρωση CO<sub>2</sub>. Συγκεκριμένα, οι επιδράσεις του διοξειδίου του άνθρακα αυξήθηκαν σταδιακά κατά τη διάρκεια της σεζόν, φτάνοντας σε ένα μέγιστο περίπου στις αρχές Αυγούστου για τη συγκέντρωση οξέος (με αύξηση 8- 9% στη μέγιστη συγκέντρωση οξέων) και περίπου 2 εβδομάδες αργότερα για τη συγκέντρωση σακχάρων (με αύξηση 13- 14%). Καθώς τα σταφύλια προχώρησαν στο στάδιο της ωρίμανσης, οι συγκεντρώσεις οξέων και σακχάρων, των εμπλουτισμένων σε CO<sub>2</sub> καλλιεργειών, πλησίασαν πιο κοντά με τις καλλιεργειες ελέγχου. Όταν το σταφύλι έφθασε την τελική ωρίμανση, η επίδραση του διοξειδίου του άνθρακα ήταν σχεδόν μη ανιχνεύσιμη (Bindi *et al.*, 2001).

Μια πιο πρόσφατη μελέτη, η οποία παρουσιάστηκε από τον Goangalves *et al.* (2009) κατέληξε στα ίδια περίπου συμπεράσματα. Στο πείραμα μελετήθηκε η ποικιλία Touriga Franca, γηγενής ερυθρή ποικιλία αμπέλου του *Vitis vinifera* L. της περιοχής Ντουέρο (Douro) στη Πορτογαλία, κατά τη χρονική περίοδο 2005-2006. Τα αμπέλια καλλιεργήθηκαν σε χωράφια ανοιχτού χώρου και σε θαλάμου ανοιχτού τύπου (OTC) όπου επικράτησε το διοξείδιο του άνθρακα της ατμόσφαιρας (10 ppm) ή αυξημένη συγκέντρωση (16 ppm). Συνολικά, οι διαφορές της σύστασης των σταφυλιών που αναπτύχθηκαν με ή χωρίς αυξημένη συγκέντρωση διοξειδίου του άνθρακα, ειδικά όσο αφορά τις ανθοκυάνες και τις ταννίνες, ήταν μικρές ή απουσίαζαν. Ωστόσο, σημειώνεται ότι οι περισσότερες αναλύσεις δεν πραγματοποιήθηκαν με σταφύλια αλλά με κρασιά που είχαν υποστεί ζύμωση και ενδέχεται να είχαν υποστεί την επίδραση των παραγόντων ζύμωσης (Goangalves *et al.*, 2009).

Η επίδραση του CO<sub>2</sub> στις ανθοκυάνες και τις ταννίνες είναι ένα αμφιλεγόμενο ζήτημα, καθώς ορισμένοι συγγραφείς ανέφεραν αύξηση των επιπέδων ανθοκυανίνης, όπως οι Kizildeniz *et al.* (2015) και οι Arrizabalaga-Arriazu *et al.* (2020). Οι Kizildeniz *et al.* (2015) διερεύνησαν τις μεμονωμένες επιδράσεις ή/και τις αλληλεπιδράσεις της αυξημένης θερμοκρασίας, του αυξημένου διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) και του ελλείμματος νερού στη βλαστική και αναπαραγωγική ανάπτυξη, στο νερό των φυτών και στην ποιότητα του σταφυλιού, άρα και του μούστου. Χρησιμοποίησαν δύο ποικιλίες αμπέλου ισπανικής καταγωγής, το κόκκινο και λευκό Temprallino. Σε τέσσερα θερμοκήπια εφαρμόστηκαν οκτώ διαφορετικοί συνδυασμοί συνθηκών από την καρπόδεση έως την ωρίμανση: επίπεδο CO<sub>2</sub> (400 έναντι 700 (μmol.mol<sup>-1</sup>), θερμοκρασία (περιβάλλοντος έναντι +4 °C) και διαθεσιμότητα νερού (πλήρης άρδευση έναντι κυκλικής ξηρασίας). Κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στην απόδοση και την ποιότητα των σταφυλιών εξαρτώνται από την ποικιλία, καθώς παρατήρησαν ότι γενικά, το κόκκινο Tempranillo είχε μεγαλύτερη βλαστική ανάπτυξη και απόδοση σταφυλιών από τη λευκή ποικιλία. Επίσης, η

απόδοση σταφυλιών επηρεάστηκε λιγότερο από τις διαφορετικές συνθήκες από ότι η φυτική ανάπτυξη. Η ξηρασία, ειδικά υπό υψηλή θερμοκρασία, μείωσε δραστικά τη βλαστική ανάπτυξη και στις δύο ποικιλίες. Είναι ενδιαφέρον ότι το αυξημένο CO<sub>2</sub> εξασθένησε αυτές τις αρνητικές επιπτώσεις της ξηρασίας. Η αντιστάθμιση αυτών των αρνητικών επιπτώσεων μπορεί να αιτιολογηθεί από το γεγονός ότι η φωτοσυνθετική διαδικασία διεγείρεται από την έκθεση σε συνθήκες αυξημένου CO<sub>2</sub> (Kizildeniz *et al.*, 2015).

Οι Dusenke *et al.* (2019), έδειξαν ότι η έκθεση σε αυξημένο ατμοσφαιρικό CO<sub>2</sub> επέδρασε θετικά στον μεταβολισμό άνθρακα από τα φυτά, αλλά το αποτέλεσμα θα μπορούσε να ελαχιστοποιηθεί από αυξημένες θερμοκρασίες. Πρότεινε, λοιπόν τη μελέτη αυτών των κλιματολογικών παραμέτρων χωριστά αλλά και συνδυαστικά (Azzirabala-Arriazu *et al.*, 2020).

### 4.3.3 Επίδραση της ακτινοβολίας

Τα αμπέλια εκτίθενται κανονικά σε υπεριώδη ακτινοβολία που φτάνει στην επιφάνεια της Γης και η οποία αντιστοιχεί στο 8-9% της συνολικής ποσότητας ηλιακής ακτινοβολίας που εισέρχεται στη γη. Μόνο η ακτινοβολία UV-A (μήκη κύματος μεταξύ 315-400 nm, 6,3%) και η ακτινοβολία UV-B (280- 315 nm, 1,5%) φτάνουν στο έδαφος. Η ακτινοβολία UV-C (<280 nm), η οποία είναι εξαιρετικά επιβλαβής, απορροφάται από το στρατοσφαιρικό οξυγόνο, το όζον και άλλα ατμοσφαιρικά αέρια. Η ποσότητα υπεριώδους ακτινοβολία στην οποία εκτίθεται το αμπέλι αυξάνεται με το υψόμετρο και μειώνεται με το γεωγραφικό πλάτος. Επίσης, εξαρτάται από τον προσανατολισμό και την κλίση του αμπελώνα, καθώς και από περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά όπως θολότητα (Carbonell-Bejerano, 2014).

Τα φυτά εκτίθενται απαραίτητα σε ηλιακή ακτινοβολία UV, επειδή απαιτούν ηλιακό φως για να πραγματοποιήσουν φωτοσύνθεση. Γενικά προσαρμόζονται στην περιβαλλοντική έκθεση σε ακτινοβολία UV-B, καθώς έχουν αναπτύξει μηχανισμούς φωτοπροστασίας για την αποφυγή ζημιάς, όπως συσσώρευση ενώσεων που απορροφούν την υπεριώδη ακτινοβολία (κυρίως φαινολικές ενώσεις) σε επιδερμικές και υποδερμικές κυτταρικές στιβάδες, μηχανισμούς για την αποκατάσταση τραυματισμών, συμπεριλαμβανομένων διαφορετικών μηχανισμών επιδιόρθωσης DNA και αντιοξειδωτικών συστημάτων. Εκτός από τη φωτοπροστασία, η υπεριώδης ακτινοβολία ενεργοποιεί επίσης προστατευτικά μέτρα για την αντιμετώπιση άλλων στρεσογόνων παραγόντων, όπως η θερμότητα ή η ξηρασία, και έχει



διαμεσολαβητικό ρόλο σε αλληλεπιδράσεις με άλλους οργανισμούς (Carbonell-Bejerano, 2014).

Οι μεταβαλλόμενοι ρυθμοί ακτινοβολίας UV-B συνδέονται με τις αλλαγές στη στιβάδα του όζοντος στον πλανήτη. Σε ιδιαίτερα επίπεδα ακτινοβολίας UV-B (280–320 nm), η αύξηση είναι περίπου 1-2% ανά δεκαετία, αλλά μπορεί να φτάσει το 8% ανά δεκαετία σε υψηλότερα υψόμετρα. Η βιβλιογραφία είναι περιορισμένη για την επίδραση της ακτινοβολίας στα σταφύλια, επειδή είναι γενικά δύσκολο να διαχωριστεί από η επίδραση των υψηλών θερμοκρασιών. Αναφέρεται ότι η φωτοσύνθεση της αμπέλου αυξάνεται με την ένταση του φωτός μέχρι το ένα τρίτο της μέγιστης ακτινοβολίας και στη συνέχεια σταματά όταν το νερό δεν είναι περιοριστικός παράγοντας (Karaoglan, 2018).

Η υπεριώδης ακτινοβολία (UV) ρυθμίζει τον δευτερογενή μεταβολισμό στο δέρμα των σταφυλιών *Vitis vinifera* L., ο οποίος επηρεάζει την τελική σύνθεση τόσο των σταφυλιών όσο και των κρασιών. Η έκφραση διαφόρων γονιδίων που σχετίζονται με τη βιοσύνθεση του φαινυλοπροπανοειδούς ρυθμίζεται από την έκθεση στην υπεριώδη ακτινοβολία των ραγών. Ωστόσο, το πλήρες τμήμα των διεργασιών μεταγραφής και ωρίμανσης που επηρεάζονται από την ηλιακή ακτινοβολία UV στα σταφύλια παραμένει άγνωστο. Παρατηρήθηκε ότι η έκφραση 121 γονιδίων άλλαξε σημαντικά από την ηλιακή ακτινοβολία UV (Carbonell-Bejerano, 2014).

Στη μελέτη των Sprayd *et al.* (2002) τα επίπεδα ανθοκυανινών στο φλοιό των σταφυλιών αυξάνονται με το φως αλλά μειώνονται με την υψηλή θερμοκρασία. Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, η υπεριώδης ακτινοβολία UV-B μπορεί να είναι επωφέλης για την παραγωγή κόκκινου κρασιού, διότι βελτιώνει τη σύνθεση χρωμάτων, φλαβονολών και τανίνης στα κόκκινα σταφύλια, αλλά μπορεί επίσης να παράγει ενώσεις με ελαττωματικό οργανικό χαρακτήρα σε λευκά σταφύλια, όπως είναι η ο-ακετοαμινοφαινόνη και η 1,1,6 -τριμεθυλο-1,2-διυδροναφθαλίνιο (TDN- η ένωση που είναι υπεύθυνη για την άτυπη γήρανση). Σε συσχέτιση με άλλα C-13 νορισοπρενοειδή, η β-δαμασκηνόνη αναφέρεται ότι μειώνεται με υψηλότερες ακτινοβολίες (Karaoglan, 2018).

#### **4.3.4 Επίδραση της ξηρασίας**

Η αύξηση της θερμοκρασίας οδηγεί σε υψηλότερη εξατμισοδιαπνοή, που μαζί με τη χαμηλότερη βροχόπτωση ορισμένων περιόδους εντείνει την εκδήλωση της ξηρασίας. Στην περιοχή της Ευρώπης τον 21<sup>ο</sup> αιώνα σημειώθηκαν ήδη τρεις περίοδοι έντονης ξηρασίας, κατά τα έτη 2003, 2012 και 2015. Οι καλοκαιρινές ξηρασίες που επικρατούν τα τελευταία χρόνια

αρχίζουν στα τέλη Μαΐου με αρχές Ιουνίου και κορυφώνονται το δίμηνο Ιούλιο - Αύγουστο (Bernath *et al.*, 2020).

Δεν είναι πολύ σαφείς οι αλλαγές στα πρότυπα βροχόπτωσης, αλλά οι περισσότερες από τις αμπελουργικές περιοχές θα αντιμετωπίσουν έναν αβέβαιο βαθμό ξηρασίας. Έτσι, περισσότερο ή λιγότερο, όλες οι περιοχές θα έχουν μειωμένη απόδοση. Εάν η ξηρασία είναι σε μέτριο επίπεδο, η ποιότητα μπορεί να επηρεαστεί θετικά, με τη μείωση του μεγέθους των καρπών και την ενίσχυση των φαινολικών συστατικών του φλοιού. Για ένα συγκεκριμένο επίπεδο ξηρασίας μπορεί να αυξηθεί η συγκέντρωση της ανθοκυανίνης και της ταννίνης. Αλλά όταν το φαινόμενο της ξηρασίας γίνει ακραίο, η διαθεσιμότητα του νερού μειώνεται σημαντικά και η ποιότητα μπορεί να επηρεαστεί αρνητικά, γεγονός που μπορεί να μειώσει τη φωτοσύνθεση, να καταστρέψει τα φύλλα και κατά συνέπεια να εμποδίσει την ωρίμανση του σταφυλιού (Karaoglan, 2018).

Παρόμοιο αποτέλεσμα αναφέρθηκε επίσης για πτητικές ενώσεις, πρόδρομες της θειόλης σε οίνους. Σύμφωνα με του des Gachons *et al.* (2005) και τους Schüttler *et al.* (2012) οι πτητικές πρόδρομες ενώσεις της θειόλης μπορούν να αυξηθούν από ένα ορισμένο έλλειμμα νερού, αλλά αν το στρες είναι πολύ υψηλό, η παραγωγή τους αναφέρεται μειωμένη (Karaoglan, 2018).

Στη μελέτη των Schüttler *et al.* (2012) αναφέρθηκε επίσης ότι τα μονοτερπένια δεν επηρεάστηκαν από την κατάσταση του νερού στα αμπέλια. Σύμφωνα με τους Koundouras *et al.* (2006) η έλλειψη νερού στο έδαφος οδηγεί στην αύξηση των C<sub>13</sub> – νορισοπρενοειδών. Η λειψυδρία μπορεί να οδηγήσει σε υψηλότερη συγκέντρωση IBMP στα σταφύλια, που όπως αναφέρθηκε, δρα αρνητικά στον οργανοληπτικό χαρακτήρα του οίνου (Karaoglan, 2018).

Σύμφωνα με τους Pons *et al.* (2017) σε ξηρούς αμπελώνες στο Bordeaux, τα σταφύλια Sauvignon blanc έχουν παρουσιάσει αύξηση στη συγκέντρωση των φλαβαν-3-ολών και μείωση των επιπέδων γλουταθειόνης. Η γλουταθειόνη είναι γνωστή για τις αντιοξειδωτικές της ιδιότητες και επιδρά θετικά στη γήρανση των λευκών κρασιών (Karaoglan, 2018).

Οι Bernath *et al.*, (2020) μελέτησαν τον αντίκτυπο της ξηρασίας στις ποιοτικές παραμέτρους σταφυλιών που καλλιεργήθηκαν στο Cultivar Testing Station (Σταθμός Δοκιμών Καλλιέργειας) στην περιοχή Dolné Plachtince της Κεντρικής Σλοβακίας. Η διαχρονική μεταβλητότητα της επίδρασης της ξηρασίας στην ποιότητα των σταφυλιών αξιολογήθηκε σύμφωνα με το δείκτη δριμύτητας ξηρασίας Palmer (PDSI), ο οποίος συσχετίζει τη ξηρασία με την υγρασία του εδάφους και τη διαθεσιμότητα του νερού. Οι τιμές του PDSI υπολογίστηκαν σε μηνιαία βάση. Η συλλογή των δεδομένων πραγματοποιήθηκε κατά τα έτη 1990-2014. Επιλέχθηκαν δύο ομάδες ποικιλιών με διαφορετικούς περιόδους

ωρίμανσης. Οι πρώιμες ποικιλίες αντιπροσωπεύτηκαν από τις Pinot Gris, Muscat Ottonel Weiss και Müller Thurgau και οι όψιμες από τις Grüner Veltliner, Riesling και Welschriesling. Τα περισσότερα χρόνια της μελέτης, κατά την περίοδο ανάπτυξης και ωρίμανσης των σταφυλιών, παρουσιάστηκε έλλειμμα νερού, σε μικρότερο ή μεγαλύτερο βαθμό. Παρατήρησαν ότι τα μικρά χρονικά διαστήματα ξηρασίας δεν επηρέασαν σημαντικά την ποιότητα του σταφυλιού, ενώ τα μεγάλα διαστήματα ξηρασίας προκάλεσαν μείωση της περιεκτικότητας σε οξέα και αύξηση της περιεκτικότητας σε σάκχαρα. Αν και η τάση ήταν σαφής, το επίπεδο συσχέτισης ήταν χαμηλό. Η πιο ευαίσθητη περίοδος παρουσιάζεται να είναι το τρίμηνο: Ιούλιος-Σεπτέμβριος. Ωστόσο, η ποιότητα επηρεάστηκε διαφορετικά σε κάθε μεμονωμένη ποικιλία. Τα αποτελέσματα υποδηλώνουν την αναγκαιότητα μιας εμπειριστατωμένης προσέγγισης στην επιλογή της ποικιλίας, λαμβάνοντας υπόψη τη ζωτικότητα και την ικανότητά της να διατηρεί ικανοποιητική περιεκτικότητα σε οξέα στα σταφύλια μέχρι την ημερομηνία συγκομιδής (Bernath *et al.*, 2020).

#### **4.3.5 Έμμεσες επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στο σταφύλι**

Εκτός από τις άμεσες επιδράσεις της κλιματικής αλλαγής στη φαινολογία της αμπέλου και στη σύνθεση των σταφυλιών, υπάρχουν σημαντικές δευτερογενείς επιδράσεις, οι οποίες σχετίζονται με τις αλλαγές στο κλίμα. Υπάρχει ο κίνδυνος βύθισης ορισμένων από τις πιο σημαντικές περιοχές του κρασιού στον κόσμο, ανάλογα με την άνοδο της στάθμης της θάλασσας (όπως είναι το Bordeaux στη Γαλλία, η Πορτογαλία, ορισμένες περιοχές της Νέας Ζηλανδίας, η περιοχή του Swan της Αυστραλίας και το Los Carneros Apilation της Καλιφόρνιας) (Karaoglan, 2018).

Στις περιοχές αυτές, ακόμη και αν δεν πλημμυρίσουν η ανάπτυξη των αμπέλων μπορεί να επηρεαστεί λόγω της αυξημένης αλατότητας στα υπόγεια ύδατα. Η αυξημένη αλατότητα των σταφυλιών και του κρασιού είναι ένα φαινόμενο που συναντάται σε αρκετές ημι-άνυδρες και άνυδρες περιοχές, όπως σε ορισμένα σημεία της Αυστραλίας και της Αργεντινής. Τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά που προέρχονται από την αλατότητα, όπως «υφάλμυρο», «θαλασσινό όπως», «σαπωνώδες», θεωρούνται αρνητικά και έχουν συσχετιστεί με υψηλές συγκεντρώσεις κρασιού Na, K και Cl. Σε μια μελέτη που μετρούσε το χλώριο σε περισσότερους από 4000 οίνους σε διάστημα 3 ετών, ο Kaufmann το 1996, βρήκε σημαντική συσχέτιση μεταξύ των υψηλών επιπέδων χλωρίου και των ξηρών περιοχών παραγωγής. Τα μέσα επίπεδα χλωρίου 0,69 mM σε όλους τους ευρωπαϊκούς ερυθρούς και λευκούς οίνους που αναλύθηκαν ήταν σε αντίθεση με τον μέσο όρο Cl 3,78 mM για τους οίνους που

παράγονται στις ΗΠΑ, το Μεξικό, την Αργεντινή και την Αυστραλία. Από μετέπειτα έρευνες, η πρόσληψη ιόντων βρέθηκε να εξαρτάται από την ποικιλία και το ριζικό σύστημα, όπως και από την αλατότητα του νερού υπεδάφους και άρδευσης καθώς και τις μεθόδους άρδευσης που εφαρμόζονται (Mira de Orduna, 2010).

Η κλιματική αλλαγή ευνόησε την αυξημένη συχνότητα εμφάνισης πυρκαγιών. Εκτός από τις ζωτικές συνέπειες των ανεξέλεγκτων πυρκαγιών στο οικολογικό σύστημα, οι οποίες έχουν γίνει αισθητές στη Μεσόγειο, τη Βρετανική Κολομβία, την Καλιφόρνια και, ιδιαίτερα, στην Αυστραλία, η καύση έχει επίδραση και στον οργανοληπτικό χαρακτήρα των καλλιεργούμενων σταφυλιών και ιδιαιτέρως του παραγόμενου οίνου. Στην Αυστραλία μάλιστα έχουν εντοπιστεί αλλοιώσεις στον αρωματικό χαρακτήρα των κρασιών από τον καπνό («βρώμικα», «καμένα» ή «καπνιστά» αρώματα) τα οποία μπορούν να μειώσουν την εμπορική αξία του οίνου ή και να τον καταστήσουν ακατάλληλο για πώληση. Μελέτες σχετικά με αυτές τις αλλοιώσεις και την αποκατάστασή τους έχουν αναφερθεί από το Australian Wine Research Institute από το 2003 και παραμένουν αντικείμενο έρευνας μέχρι σήμερα (Dungey *et al.*, 2011). Μια μελέτη του Kennison *et al.* (2008) αποκάλυψε την παρουσία γουαϊακόλης, 4-μεθυλο-γουαϊακόλης, 4-αιθυλο-γουαϊακόλης, 4-αιθυλοφαινόλης, ευγενόλης και φουρφουράλης στο υπερκείμενο αέριο του οίνου που παρασκευάστηκε από σταφύλια που είχαν εκτεθεί σε καπνό από άχυρο. Τα πειράματα πεδίου<sup>2</sup> έδειξαν ότι η έκθεση στον καπνό είχε αθροιστική επίδραση (αυξήθηκε η συγκέντρωση σε σταφύλια που εκτέθηκαν σε καπνό κατά επανάληψη) και οι ενώσεις γουαϊακόλη και 4-μεθυλο-γουαϊακόλη ήταν οι πιο ισχυρές ενώσεις αρώματος καπνού σε σταφύλια της ποικιλίας Merlot, που εκτέθηκαν σε καπνό. Ενώ υπήρχαν μόνο ίχνη στον υπερκείμενο χώρο του μούστου, ο υπερκείμενος χώρος των τελικών οίνων περιείχε μεγάλες ποσότητες (Kennison *et al.*, 2008). Και οι δύο ενώσεις έχουν ταυτοποιηθεί σε αλλοιωμένα κρασιά σε επίπεδα που υπερβαίνουν το 10πλάσιο του αισθητήριου ορίου τους (Dungey *et al.*, 2011; Kennison *et al.*, 2008).

Ένας άλλος παράγοντας που σχετίζεται με την αλλαγή του κλίματος και ο οποίος είναι πιθανό να επηρεάσει την παραγωγή σταφυλιών είναι η ανάπτυξη των διαφόρων παρασίτων και ασθενειών, καθώς και των φορέων που είναι υπεύθυνοι για την εξάπλωση των ασθενειών (Karaoglan, 2018). Η διακύμανση της θερμοκρασίας, η αύξηση της έκθεσης στην ηλιακή ακτινοβολία, η υγρασία και οι βροχοπτώσεις επιδρούν σημαντικά στην ανάπτυξη του μύκητα *Botrytis cinerea*. Μια αυστραλιανή μελέτη των Steel και Greer το 2008 διαπίστωσε ότι οι υψηλές θερμοκρασίες στην ενδοχώρα (35-42 °C), ενώ λειτουργούν προστατευτικά από

---

<sup>2</sup>Πειράματα σε φυσικό περιβάλλον

τις ασθένειες που δε σχετίζονται με τον *Botrytis cinerea*, οδηγούν σε ηλιακά εγκαύματα του φλοιού των σταφυλιών, που σχετίζονται με τον *Botrytis cinerea* (Steel and Greer, 2008).

#### 4.4 Επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στο ελληνικό σταφύλι

Η Ελλάδα διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη της αμπελουργίας και της παραγωγής οίνου από την αρχαιότητα μέχρι σήμερα. Παραδοσιακά, οι Έλληνες καλλιεργητές καλλιεργούσαν κυρίως τοπικές ποικιλίες σταφυλιών (πάνω από 200). Αργότερα, στο δεύτερο μισό του 20<sup>ου</sup> αιώνα, πολλές διεθνείς ποικιλίες εισήχθησαν στην Ελλάδα και τώρα καλλιεργούνται ευρέως (Koufos *et al.*, 2013).

Οι Koufos *et al.* (2020) μελέτησαν τη συσχέτιση των ημερομηνιών συγκομιδής και της σύνθεσης των σταφυλιών με τη θερμοκρασία που επικρατεί κατά τη διάρκεια σημαντικών διαστημάτων της καλλιεργητικής περιόδου και τις πιθανές αλλαγές που θα επιφέρει η άνοδος της θερμοκρασίας λόγω κλιματικής αλλαγής. Χρησιμοποίησαν αυτόχθονες και διεθνείς ποικιλίες αμπέλου που καλλιεργούνται στην πλειονότητα των οινοπαραγωγικών περιοχών της Ελλάδας. Υπολόγισαν τον δείκτη βαθμοημερών (GDD) από την 1<sup>η</sup> Απριλίου έως την ημερομηνία συγκομιδής κάθε ποικιλίας και ομαδοποίησαν τις ποικιλίες αμπέλου ανάλογα με τις θερμικές απαιτήσεις τους. Προέβλεψαν τις μελλοντικές ημερομηνίες συγκομιδής με βάση αυτές τις απαιτήσεις θερμότητας κάτω από διαφορετικά μελλοντικά σενάρια εκπομπών (RCP4.5 και RCP8.5) για τις μελλοντικές χρονικές περιόδους: 2041-2065 και 2071-2095 (Koufos *et al.*, 2013). Η Διακυβερνητική Επιτροπή για την Κλιματική Αλλαγή IPCC (2013) εισήγαγε τέσσερα μελλοντικά σενάρια εκπομπών (RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0, RCP8.5). Για παράδειγμα το RCP8.5 είναι ακραίο σενάριο όπου υποθέτει ότι η αύξηση των αερίων του θερμοκηπίου θα συνεχιστεί χωρίς περιορισμό και θα οδηγήσει σε αύξηση 8,5 Watt/ m<sup>2</sup> για το έτος 2100. Το σενάριο RCP4.5 υποθέτει ότι η άνοδος της θερμοκρασίας δε θα υπερβεί τους 2 °C (IPCC, 2013).

Το βασικό μοντέλο γραμμικής παλινδρόμησης το οποίο διαμορφώθηκε από δεδομένα της περιόδου 2000-2017, έδειξε ότι οι ημερομηνίες συγκομιδής έχουν μετατοπιστεί νωρίτερα, τις τελευταίες δεκαετίες, και η κύρια αιτία είναι η επικράτηση θερμότερων συνθηκών, ιδιαίτερα κατά την περίοδο ωρίμανσης. Επιπλέον, παρατηρήθηκε αύξηση του δυναμικού αλκοολικού τίτλου και μείωση της οξύτητας. Τα μελλοντικά σενάρια έδειξαν ότι οι ημερομηνίες συγκομιδής αναμένεται να μετατοπιστούν νωρίτερα έως 40 ημέρες στις δύο εξεταζόμενες μελλοντικές χρονικές περιόδους (δηλαδή, 2041-2065 και 2071-2095) ανάλογα με την ποικιλία και την πορεία των εκπομπών (Koufos *et al.*, 2013).

Οι ημερομηνίες συγκομιδής των πρώιμων ποικιλιών ωρίμανσης συσχετίστηκαν περισσότερο με τις διακυμάνσεις της μέγιστης θερμοκρασίας του αέρα από το Μάρτιο έως τον Ιούλιο, ενώ οι μεσαίες και οι όψιμες ποικιλίες ωρίμανσης φαίνεται να επηρεάζονται περισσότερο από το μέγιστο της θερμοκρασίας του αέρα κατά την περίοδο ωρίμανσης. Επιπλέον, οι αυτόχθονες ελληνικές ποικιλίες στην πλειονότητά τους εμφανίζουν καλύτερη προσαρμογή στις πρόσφατες και στις προβλεπόμενες αλλαγές για το κλίμα της περιοχής, σε σύγκριση με τις διεθνείς ποικιλίες (Koufos *et al.*, 2013).

## 5 Συμπεράσματα

Η κλιματική αλλαγή είναι ένα φαινόμενο που συντελείται εδώ και ορισμένες δεκαετίες. Ήδη οι επιπτώσεις της αλλαγής του κλίματος γίνονται εμφανείς. Η άνοδος της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας του πλανήτη, το λιώσιμο των πάγων είτε στους πόλους είτε στους ορεινούς ή αλπικούς παγετώνες η συνεχής άνοδος της στάθμης της θάλασσας, τα ακραία καιρικά φαινόμενα που λαμβάνουν χώρα όλο και συχνότερα είναι η απόδειξη ότι ο άνθρωπος είναι μπροστά σε μία μεγάλη αλλαγή.

Το αμπέλι είναι ένα προϊόν που καλλιεργείται σε πολλές περιοχές του πλανήτη και αποτελεί σημαντικό οικονομικό παράγοντα για μία μεγάλη ομάδα ανθρώπων. Το σταφύλι, είτε προορίζεται για φάγωμα είτε για οινοποίηση είτε για να γίνει σταφίδα, οφείλει να διατηρεί κάποια επιθυμητά ως προς τον καταναλωτή χαρακτηριστικά. Ορισμένα από αυτά απειλούνται από την κλιματική αλλαγή. Η χημική του σύνθεση αλλοιώνεται και κατά συνέπεια και ο οργανοληπτικός του χαρακτήρας.

Η κλιματική αλλαγή είναι μια σημαντική πρόκληση για την αμπελουργία τις επόμενες δεκαετίες. Τα σταφύλια θα περιέχουν περισσότερα σάκχαρα και λιγότερα οργανικά οξέα, με αποτέλεσμα υψηλότερο pH. Το σταφύλι με υψηλή σακχαροπεριεκτικότητα θα οδηγήσει σε κρασιά, που θα έχουν υψηλότερα επίπεδα αλκοόλ με έλλειψη φρεσκάδας και αρωματικής πολυπλοκότητας. Τόσο οι ερυθροί όσο και οι λευκοί οίνοι ποιότητας θα παρουσιάζουν χαμηλότερα επίπεδα αρώματος και ο κίνδυνος άτυπης γήρανσης στα λευκά κρασιά θα είναι υψηλότερος.

Ο σύγχρονος αμπελουργός αλλά και ο οινοπαραγωγός έχουν να αντιμετωπίσουν μία πρώτη ύλη με αυξημένη σακχαροπεριεκτικότητα, ελαττωμένη οξύτητα, αυξημένη συγκέντρωση  $K^+$ , αυξημένο pH, τροποποίηση στην αναλογία των τανινών, ανθοκυανινών, αρωματικών ενώσεων.

## 6 Βιβλιογραφία

### 6.1 Ελληνική Βιβλιογραφία

- Δούτσος, Θ. (2000). *Γεωλογία Αρχές και Εφαρμογές*. Αθήνα, εκδ. Leader Books, σελ. 221-239
- Κουράκου-Δραγωνά, Σ. (1998). *Θέματα Οινολογίας, Επιστήμη και Τεχνολογία στον Τομέα της Οινοποιητικής Τεχνικής*, εκδ Τροχαλία, σελ. 64-71
- Φωτιάδη, Α. (2015). Ενότητα 10α. Κλίμα- Κλιματική Ταξινόμηση Korpen, Μετεωρολογία-Κλιματολογία, Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα, Τμήμα Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων, Πανεπιστήμιο Πατρών, Αγρίνιο 2015

### 6.2 Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία

- Arrizabalaga-Arriazu, M., Gomes, E., Morales, F., Irigoyen, J.J., Pascual, I., Hilbert, G. (2020). High Temperature and Elevated Carbon Dioxide Modify Berry Composition of Different Clones of Grapevine (*Vitis Vinifera* L.) cv. Tempranillo. *Frontiers in Plant Science* 11: 1-18
- Badr, G., Hoogenboom, G., Abouali, M., Moyer, M., Keller, M. (2018). Analysis of several bioclimatic indices for viticultural zoning in the Pacific Northwest, *Climate Research* 76: 203-233
- Beauchet, S., Cariou, B., Renaud-Gentle, C., Meunier, M., Siret, R., Thiollet- Scholtus, M., Jourjon, F. (2020). Modeling grape quality by multivariate analysis of viticulture practices, soil and climate, *OENO One* 54: 601-622
- Bernath, S., Siska, B., Paulen, O., Zuzulova, V., Pinter, E., Zilinsky, M., Toth, F. (2020). Grape Quality Parameters in Western Carpathian Region under Changing Climatic Conditions as Influenced by Drought. *Journal of Ecological Engineering* 21: 39-45
- Bindi, M., Fibbi, L., Miglietta, F. (2001). Free Air CO<sub>2</sub> Enrichment (FACE) of grapevine (*Vitis vinifera* L.): Growth and quality of grape and wine in response to elevated CO<sub>2</sub> concentrations. *European Journal of Agronomy* 14: 145-155
- Buttrose, M.S., Hale, C.R., Kliewer, W.M. (1971). Effects of temperature on the Composition of “Cabernet Sauvignon” Berries. *American Journal of Enology and Viticulture* 22: 71-75
- Carbonell-Bejerano, P., Diago, M.-P., Martinez-Abaigar, J., Martinez-Zapater, J.M., Tardaguila, J., Nunez-Olivera, E (2014). Solar ultraviolet radiation is necessary to enhance grapevine fruit ripening transcriptional and phenolic responses. *Bio Med Center (BMC) Plant Biology* 14: 183
- Dry, P.R. (1988). Climate change and the Australian grape and wine industry, *Aust Grapegrower Winemaker December, Winetitles*, Adelaide, pp. 14-15
- Duchene, E., Schneider, C. (2005). Grapevine and climatic changes: A glance at the situation in Alsace. *Agronomy* 25: 93-99
- Dungey, K.A., Hayasaka, Y., Wilkinson, K.L. (2011). Quantitative analysis of glycoconjugate precursors of guaicol in smoke-affected grapes using liquid chromatography-



- tandem mass spectrometry based stable isotope dilution analysis. *Food Chemistry* 126:801-806
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nation) (2009). Grapes Wine Agribusiness handbook, vol. 5
- Goançalves, B., Falco, V., Moutinho-Pereira, J., Bacelar, E., Peixoto, F., Correia, C. (2009). Effects of Elevated CO<sub>2</sub> on Grapevine (*Vitis vinifera* L.): Volatile Composition, Phenolic Content, and in Vitro Antioxidant Activity in Red Wine. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 57: 265-273
- Hall, A., Jones, G.V. (2018). Effect of potential atmospheric warming on temperature-based indices describing Australian wine grape growing conditions. *Australian Journal of Grape and Wine Research* 15: 97-119
- Hannah, L., Roehrdanz, P.R., Ikegami, M., Shepard, A.V., Shaw, M.R., Gary, T., Zhi, L., Marquet, P.A., Hijmans, R.J. (2013). Climate change, wine and conservation. *PNAS* 110: 6907-6912
- Honorio, F., Garcia-Martin, A., Moral, F.J., Paniagua, L.L., Rebollo, F.J. (2018). Spanish vineyard classification according to bioclimatic indexes. *Australian Journal of Grape and Wine Research* 24: 335-344
- IPPC (2013). Annex II: Climate System Scenario Tables. In: Prather, M., Flato, G., Friedlingstein, P., Jones, C., Lamarque, J.-F., Liao, H., Rasch, P. (eds), *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA
- Karaoglan, S.Y. (2018). The expected impact of climate change on grape flavor components - A Review. *Annals of the University of Craiova- Agriculture, Montanology. Cadastre Series* 48: 215-220
- Keller, M. (2010). Managing grapevines to optimize fruit development in a challenging environment: a climate change primer for viticulturists. *Australian Journal of Grape and Wine Research* 16: 56-69
- Kennison, K.R., Gibberd, M.R., Pollnitz, A.P., Wilkinson, K.L. (2008). Smoke-derived taint in wine: the release of smoke-derived volatile phenols during fermentation of Merlot juice following grapevine exposure to smoke. *Journal of Agriculture Food Chemistry* 56: 7379-7383
- Kizildeniz, T., Mekni, I., Santesteban, H., Pascual, I., Morales, F., Irigoyen, J.J. (2015). Effects of climate change including elevated CO<sub>2</sub> concentration, temperature and water deficit on growth, water status and yield quality of grapevine (*Vitis vinifera* L.) cultivars. *Agricultural Water Management* 159: 155-164
- Kliewer, W.M. (1977). Influence of temperature, solar-radiation and nitrogen on coloration and composition of Emperor grapes. *American Journal of Enology and Viticulture* 28: 96-103
- Koufos, G.C., Mavromatis, T., Koundouras, S., Jones, G.V. (2020). Adaptive capacity of winegrape varieties cultivated in Greece to climate change: current trends and future projections. *Oeno One* 4: 1201-1219
- Lenssen, N.J., Schmidt, G.A., Hansen, J.E., Menne, M.J., Persin, A., Ruedy, R., Zyss, D. (2019). Improvements in the GISTEMP Uncertainty Model. *Journal of Geophysical Research Atmospheres* 124(12): 6307-6326

- Mira de Orduna, R. (2010). Climate change associated effects on grapes and wine quality and production. *Food Research International* 43: 1844-1855
- Pina-Rey, A., Gonzalez-Fernandez, E., Fernandez-Gonzalez, M., Lorenzo, M.N., Rodriguez-Rajo, J. (2020). Climate Change Impacts Assessment on Wine-Growing Bioclimatic Transition Areas. *Agriculture* 10(12): 605
- Pincus, R. (2003) Wine, place and identity in a changing climate. *Gastronomica* 3:87-93
- Roe, G.H., Baker, M.B., Herla, F. (2016). Centennial glacier retreat as categorical evidence or regional climate change. *Nature Geoscience* 10: 95-99
- Sallis, P., Shanmuganathan, S., Narayanan, A. (2010). Micro-climate variations related to vineyard crop quality. Proceedings of the Biannual World Automation Congress, 19-23 Sept., Kobe, Japan
- Schultz, H.R. (2000). Climate change and viticulture: a European perspective on climatology, carbon dioxide and UV-B, effects. *Aust. J. Grape Wine Res.* 6:2-12
- Smart, R.E. (1989). Climate change and the New Zealand wine industry-prospects for the third millennium. *Wine Ind. J.* 4:8-11
- Spayd, S.E., Tarara, J.M., Mee, D.L., Ferguson, J.C. (2002). Separation of Sunlight and Temperature Effect on the Composition of *Vitis vinifera* cv. Merlot Berries. *American Journal of Enology and Viticulture* 53: 171-182
- Steel, C.C., Greer, D. (2008). Effect of climate on vine and bunch characteristics: Bunch rot disease susceptibility. *Acta horticulturae* 785: 253-262
- Stock, M., Gerstengarbe, F.W., Kartschall, T., Werner, P.C. (2005). Reliability of climate change Impact Assessments for Viticulture. *Acta Holrticulturae* 689: 29-40
- Tarara, J., Lee, J., Spayd, S.E., Scagel, C.F. (2008). Berry Temperature and Solar Radiation Alter Acylation, Proportion, and Concentration of Anthocyanin in Merlot Grapes. *American Journal of Enology and Viticulture* 59: 235-247
- Venios, X., Korkas, E., Nisiotou, A., Banilas, G. (2020). Grapevine Responses to Heat Stress and Global Warming, Review. *Plants* 9: 1754
- Venkitasamy, C., Zhao, L., Zhang, R., Pan, Z. (2019). Chapter 6 - Grapes. In: Pan, Z., Zhang, R., Zicari, S. (eds), *Integrated Processing Technologies for Food and Agricultural By-Products*. Elsevier Inc. pp. 133-163
- Villete, J., Cuellar, T., Verdeil, J-L., Delrot, S, Gailard, I. (2020). Grapevine Potassium Nutrition and Fruit Quality in the Context of Climate Change. *Frontiers in Plant Science* 11 doi: 10.3389/fpls.2020.00123
- Webb, L.B., Whetton, P.H., Barlow, E.W.R. (2008). Climate change and winegrape quality in Australia, Inter – Research Science. Publisher, *Climate Research* 36: 99-111
- White, M.A., Deffenbaugh, N.S., Jones, G.V., Pal, J.S., Giorgi, F. (2006). Extreme heat reduces and shifts United States premium wine production in the 21<sup>th</sup> century. *PNAS* 103: 11217-11222

### 6.3 Διαδικτυακές πηγές

- NASA (2019). Climate Change: How Do We Know? Διατίθεται (15/04/2020): <https://climate.nasa.gov/evidence/>
- NOAA (2019). Global Climate Change Indicators. Διατίθεται (15/04/2020): <https://www.ncdc.noaa.gov/monitoring-references/faq/indicators.php#warming-climate>
- NOAA (2020). Ocean Heat Content, National Centers for Environmental Information. Διατίθεται (15/04/2020): <https://www.ncdc.noaa.gov/cdr/oceanic/ocean-heat-content>
- Schmunk, R. (NASA/GSFCGISS) (2019). Video: Global warming from 1880 to 2019, NASA's Scientific Visualization Studio. Διατίθεται (15/04/2020): [https://climate.nasa.gov/climate\\_resources/139/video-global-warming-from-1880-to-2019](https://climate.nasa.gov/climate_resources/139/video-global-warming-from-1880-to-2019)