



## Ανακαλύπτοντας τον Ένοχο: Μια Πρόταση Διδακτικής Παρέμβασης Επίλυσης Μυστηρίου με Ηλεκτρονική Μικροσκοπία Σάρωσης (SEM)

Φλώρα Μαντελάκη<sup>1</sup>, Ελένη Πετρίδου<sup>2</sup> και Ευριπίδης Χατζηκρανιώτης<sup>3</sup>

<sup>1</sup>ΠΜΣ «Διδακτική της Φυσικής και Εκπαιδευτική Τεχνολογία»,

<sup>2</sup>Εργαστηριακό Διδακτικό Προσωπικό, <sup>3</sup>Καθηγητής,

Εργαστήριο Διδακτικής της Φυσικής & Εκπαιδευτικής Τεχνολογίας,

Τμήμα Φυσικής, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

<sup>1</sup>[fmantela@physics.auth.gr](mailto:fmantela@physics.auth.gr), <sup>2</sup>[elepet@physics.auth.gr](mailto:elepet@physics.auth.gr), <sup>3</sup>[evris@physics.auth.gr](mailto:evris@physics.auth.gr)

### Περίληψη

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται η ανάπτυξη μιας διδακτικής παρέμβασης Επίλυσης Μυστηρίου για την μελέτη της μικρό-δομής μέσω της αξιοποίησης εικόνων Ηλεκτρονικού Μικροσκοπίου Σάρωσης (SEM). Η σχεδίαση της παρέμβασης πραγματοποιήθηκε με το διδακτικό μοντέλο 5E και πραγματεύεται την αξιοποίηση εικόνων δειγμάτων ανθρώπινης τρίχας, τα οποία παρέχονται από την προσομοίωση Virtual SEM ενός ηλεκτρονικού μικροσκοπίου σάρωσης. Οι μαθητές καλούνται να διερευνήσουν την μικρό-δομή ανδρικής και γυναικείας ανθρώπινης τρίχας, εντοπίζοντας διαφορές μεταξύ δύο δειγμάτων και ταυτοποιώντας τον ένοχο σε ένα σενάριο μυστηρίου.

**Λέξεις κλειδιά:** ανθρώπινη τρίχα, ηλεκτρονική μικροσκοπία σάρωσης, μικρό-δομή, σενάριο CSI

## Identifying the Suspect: A Proposal for a Mystery-Solving Teaching Intervention with Scanning Electron Microscopy (SEM)

Flora Mantelaki<sup>1</sup>, Eleni Petridou<sup>2</sup> and Euripides Hatzikraniotis<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Program of Graduate Studies “Didactics of Physics and Educational Technology”,

<sup>2</sup>Laboratory Teaching Staff, <sup>3</sup>Professor,

Laboratory of Didactics of Physics & Educational Technology,

School of Physics, Aristotle University of Thessaloniki

<sup>1</sup>[fmantela@physics.auth.gr](mailto:fmantela@physics.auth.gr), <sup>2</sup>[elepet@physics.auth.gr](mailto:elepet@physics.auth.gr), <sup>3</sup>[evris@physics.auth.gr](mailto:evris@physics.auth.gr)

### Abstract

This paper presents the development of a Mystery-Solving teaching intervention focused on studying microstructure through the use of Scanning Electron Microscope (SEM) images. The teaching intervention was designed using the 5E instructional model and involves the use of images of human hair samples provided by the Virtual SEM simulation of a scanning electron microscope. Students are tasked with investigating the microstructure of male and female human hair, identifying differences between two samples, and identifying the suspect in a mystery scenario.

**Keywords:** CSI scenario, human hair, microstructure, scanning electron microscopy

### Εισαγωγή

Η ένταξη σύγχρονων θεμάτων φυσικής στο πλαίσιο της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης αποτελεί πρόκληση και μπορεί να συμβάλει στην εξοικείωση των μαθητών απέναντι σε επιστημονικές πρακτικές. Ερευνητικό και εκπαιδευτικό ενδιαφέρον παρουσιάζει η

προσέγγιση θεμάτων νάνο-τεχνολογίας που αφορούν στην ευρύτερη μελέτη της μικρό-δομής, εμπλέκοντας τους μαθητές ενεργά στην εκπαιδευτική διαδικασία, συνεισφέροντας στην κατανόηση της επιστημονικής μεθοδολογίας (Stevens et al., 2009).

Οι διδακτικές προσεγγίσεις που βασίζονται σε σενάρια εγκληματολογίας τύπου CSI (Crime Scene Investigation), ενισχύουν το ενδιαφέρον των μαθητών για την μάθηση, προσφέροντας ένα ρεαλιστικό διαδραστικό πλαίσιο εφαρμογής της επιστήμης. Συνδυάζουν στοιχεία κριτικής σκέψης, ανάλυσης δεδομένων και ομαδικής εργασίας, συνεισφέροντας στην ενίσχυση του επιστημονικού εγγραμματισμού των μαθητών, βοηθώντας τους να αναπτύξουν τις ερευνητικές τους ικανότητες, εξερευνώντας συναρπαστικά επιστημονικά στοιχεία (Basso et al., 2018). Με την εμπλοκή τους σε σενάρια CSI οι μαθητές έχοντας την αίσθηση ότι συμμετέχουν σε πραγματικές ερευνητικές διαδικασίες παρακινούνται να αναλύσουν και να συνδέσουν διαφορετικές πληροφορίες ώστε να καταλήξουν σε λογικά συμπεράσματα, ενισχύοντας δεξιότητες επίλυσης προβλημάτων.

Η Ηλεκτρονική Μικροσκοπία Σάρωσης (Scanning Electron Microscopy - SEM) αποτελεί μία προηγμένη τεχνική απεικόνισης για τη μελέτη της μικρό-δομής των υλικών. Οι εικόνες SEM προσφέρουν πληροφορίες για τη μορφολογία, την τοπογραφία και τη σύνθεση των δειγμάτων, ενώ η μέθοδος χαρακτηρίζεται από την ευελιξία της, καθώς μπορεί να εφαρμοστεί σε ευρύ φάσμα υλικών, από μέταλλα και πολυμερή έως και ανθρώπινους ιστούς (Egerton, 2016). Η συγκεκριμένη τεχνική έχει αναδειχθεί ως εξαιρετικό εργαλείο σε κλάδους όπως η εγκληματολογία, επιτρέποντας τη λεπτομερή ανάλυση των χαρακτηριστικών επιφανείας και των δομικών ιδιοτήτων δειγμάτων.

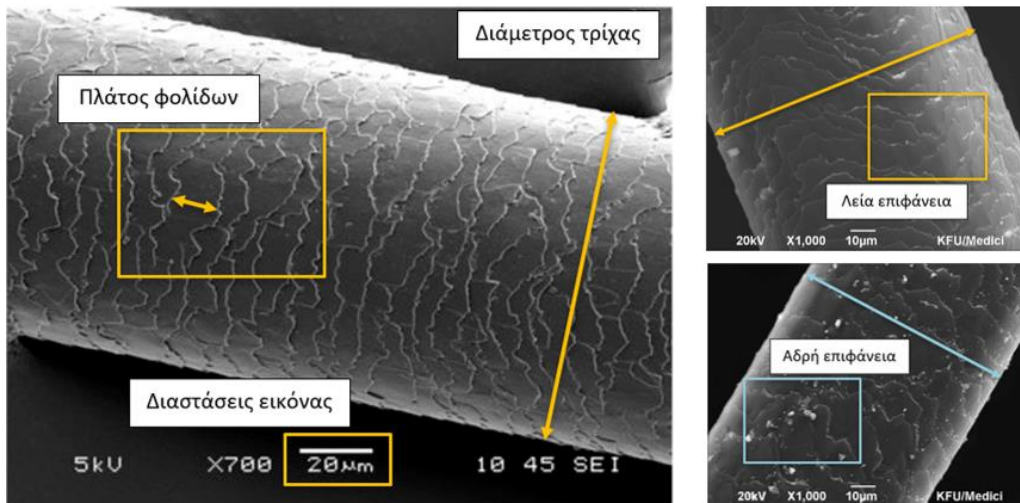
Στόχος της εργασίας είναι να παρουσιαστεί μια πρόταση διδακτικής παρέμβασης τύπου CSI, με σκοπό την μελέτη της μικρό-δομής μέσω της διερεύνησης εικόνων SEM που αφορούν σε δείγματα ανθρώπινων τριχών. Οι μαθητές καλούνται να διερευνήσουν την μικρό-δομή ανδρικής και γυναικείας ανθρώπινης τρίχας, συγκρίνοντας τα δείγματα και εντοπίζοντας ομοιότητες και διαφορές ώστε να ταυτοποιήσουν τον ένοχο σε ένα σενάριο μυστηρίου, αναπτύσσοντας δεξιότητες συνεργασίας, επικοινωνίας και επίλυσης προβλημάτων.

### **Επιστημονικό Περιεχόμενο**

Η μικρό-δομή της ανθρώπινης τρίχας αποτελείται από τρία βασικά στρώματα: την εξωτερική επιφάνεια ή επιδερμίδα, τον φλοιό και τον μυελό. Η επιδερμίδα αποτελείται από επικαλυπτόμενες φολίδες κερατίνης που προστατεύουν τα εσωτερικά στρώματα από εξωτερικές φθορές, ενώ η μορφή και η ακεραιότητά τους επηρεάζονται από τη χρήση χημικών προϊόντων (Kim et al., 2024). Τα χαρακτηριστικά των φολίδων, όπως το πλάτος, η διάταξη και η πυκνότητα, διαφέρουν μεταξύ ατόμων και μπορούν να επηρεαστούν από παράγοντες όπως το φύλο (άνδρας, γυναίκα), η ηλικία, η υγεία της τρίχας και η περιβαλλοντική φθορά. Μέσω της τεχνικής SEM, είναι δυνατή η μέτρηση της διαμέτρου της τρίχας, του πλάτους των φολίδων, καθώς και η παρατήρηση της υφής της επιφάνειας, αποκαλύπτοντας λεπτομέρειες που δεν είναι ορατές με οπτικά μικροσκόπια (Chu et al., 2020), όπως φαίνεται στην Εικόνα 1.

Η μορφολογική ανάλυση της επιδερμίδας αναδεικνύει πτυχές της δομής της, όπως η διαστρωμάτωση και η χημική σύνθεση, στοιχεία που επηρεάζουν άμεσα τη μηχανική συμπεριφορά της τρίχας (Rogers, 2019). Η υψηλή ανάλυση και η δυνατότητα μεγέθυνσης στη νάνο-κλίμακα διευκολύνει την παρατήρηση χαρακτηριστικών της επιφάνειας της τρίχας που προκαλούνται από περιβαλλοντική φθορά ή χημικές επεξεργασίες, αναδεικνύοντας τη σύνδεση της νάνο-δομής της επιδερμίδας με τις φυσικές της ιδιότητες (Yang et al., 2014). Η διαφοροποίηση της επιφάνειας της τρίχας αποτελεί ένδειξη για την ταυτοποίηση δειγμάτων, συνεισφέροντας στον κλάδο της εγκληματολογίας. Βέβαια, οι μορφολογικές διαφοροποιήσεις μεταξύ ανθρώπινων τριχών που προκύπτουν από εικόνες SEM, στην πραγματικότητα δεν επαρκούν για την ασφαλή ταυτοποίηση δειγμάτων και η πλήρης εγκληματολογική ταυτοποίηση συνήθως συνδυάζεται και με άλλες τεχνικές, όπως η ανάλυση DNA.

**Εικόνα 1.** Εικόνες SEM ανθρώπινων τριχών



### Μεθοδολογία

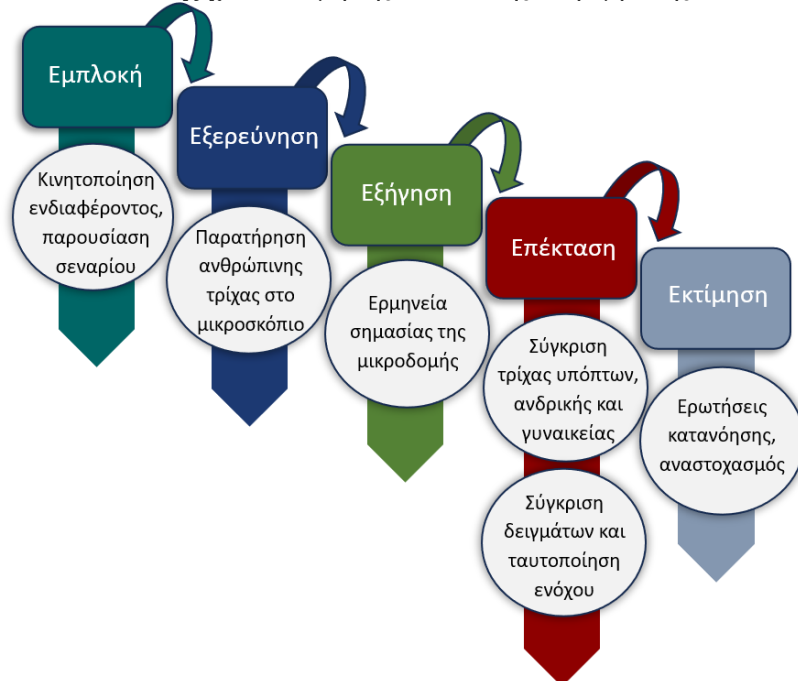
Η διδακτική παρέμβαση διάρκειας δύο διδακτικών ωρών που σχεδιάστηκε απευθύνεται σε μαθητές της Β' Γυμνασίου, και αφορά στην επίλυση ενός εγκληματολογικού σεναρίου που περιλαμβάνει την ανάλυση δειγμάτων ανδρικής και γυναικείας τρίχας με στόχο την ταυτοποίηση του ενόχου μέσω παρατηρήσεων και μετρήσεων που προκύπτουν από εικόνες SEM. Το παρόν διδακτικό σενάριο χρησιμοποιεί την τεχνική SEM ως μέσο, εστιάζοντας στην καλλιέργεια δεξιοτήτων παρατήρησης, ερμηνείας και επίλυσης προβλημάτων, και όχι στην απόλυτη ταυτοποίηση δειγμάτων. Η σχεδίαση της διδακτικής παρέμβασης βασίζεται στο διδακτικό μοντέλο 5E (Bybee et al., 2006) το οποίο προάγει την μαθητοκεντρική μάθηση, και ακολουθεί ένα εγκληματολογικό σενάριο τύπου CSI που επικεντρώνεται στη μελέτη της μικρό-δομής. Οι εικόνες SEM αφορούν δείγματα ανθρώπινης τρίχας και λαμβάνονται μέσω της προσομοίωσης VirtualSEM ([https://myscope-explore.org/virtualSEM\\_explore.html](https://myscope-explore.org/virtualSEM_explore.html)). Το εικονικό SEM περιλαμβάνει περισσότερα από 50 δείγματα υλικών (καθημερινά, αρθρώποδα, εγκληματολογίας, κλπ.), σε μεγεθύνσεις από X100 έως X3500. Οι μαθητές έχουν την ευκαιρία να αλληλεπιδράσουν με εικόνες διαφορετικής μεγέθυνσης, γεγονός το οποίο συμβάλλει στην εξοικειώσή τους με κάποιες από τις Μεγάλες Ιδέες της νάνο-τεχνολογίας (Stevens et al., 2009), όπως το μέγεθος και κλίμακα (size & scale), η δομή της ύλης (structure of matter), και εργαλεία που χρησιμοποιούνται στη μελέτη της νάνο-κλίμακας (tools & instrumentation). Τα Φύλλα Εργασίας που αναπτύχθηκαν συμπληρώνονται ομαδοσυνεργατικά, καθώς επιδιώκεται μέσα από συζήτηση οι μαθητές να αντιληφθούν πως η μικρό-δομή διαφέρει μεταξύ των δειγμάτων, παρατηρώντας τις ενδείξεις που παρέχονται από τις εικόνες, αναπτύσσοντας δεξιότητες επίλυσης προβλημάτων, καλλιεργώντας την δημιουργικότητά τους και προωθώντας την διαθεματική μάθηση.

### Αποτελέσματα

Η δομή της διδακτικής παρέμβασης ακολουθεί τα στάδια του μοντέλου 5E, όπως παρουσιάζεται συνοπτικά στο Σχήμα 1. Αρχικά πραγματοποιείται κινητοποίηση του ενδιαφέροντος των μαθητών με την παρουσίαση ενός σεναρίου μυστηρίου, στο οποίο θα εμπλακούν ενεργά, εξερευνώντας στη συνέχεια την μικρό-δομή ανθρώπινων τριχών στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο μέσω της χρήσης προσομοίωσης. Αφού καταγράφουν τις παρατηρήσεις και τις μετρήσεις τους, επιχειρούν να ερμηνεύσουν την σημασία της μικρό-δομής για την ταυτοποίηση δειγμάτων. Έπειτα ελεγκτύνουν τις γνώσεις τους εφαρμόζοντας την αντίστοιχη διαδικασία για την διερεύνηση ενός δεύτερου υπόπτου, συγκρίνοντας εικόνες ανδρικής και γυναικείας τρίχας για να εντοπίσουν στοιχεία (διάμετρος, πλάτος φολιδών, υφή

επιφάνειας) προκειμένου να καταλήξουν στον ένοχο. Για την αξιολόγηση των γνώσεων τους, οι μαθητές επισημαίνουν τους παράγοντες που συμβάλλουν στην ταυτοποίηση των δειγμάτων που μελετούν περιγράφοντας εικόνες SEM και αναστοχάζονται όσον αφορά την διερευνητική διαδικασία που ακολούθησαν.

**Σχήμα 1.** Δομή της Διδακτικής Παρέμβασης



**Πίνακας 1.** Μαθησιακοί Στόχοι και Αναμενόμενα Μαθησιακά Αποτελέσματα της Διδακτικής Παρέμβασης με Βάση τα Στάδια του Μοντέλου 5E

Στάδια Μοντέλου 5 <sup>E</sup>	Μαθησιακοί Στόχοι	Αναμενόμενα Μαθησιακά Αποτελέσματα
Εμπλοκή (Engage)	Οι μαθητές να διατυπώνουν υποθέσεις και ερωτήματα για την επίλυση ενός σεναρίου μυστηρίου	Οι μαθητές εμπλέκονται ενεργά σε ένα σενάριο επίλυσης μυστηρίου τύπου CSI εκφράζοντας ενδιαφέρον ως προς την ανακάλυψη του ενόχου.
Εξερεύνηση (Explore)	Οι μαθητές: - να διερευνήσουν την μικρό-δομή ανθρώπινων τριχών μέσω της χρήσης προσομοίωσης ηλεκτρονικού μικροσκοπίου σάρωσης (SEM) - να καταγράφουν παρατηρήσεις και μετρήσεις όσον αφορά την μικρό-δομή της επιφάνειας ανθρώπινων τριχών	Οι μαθητές χρησιμοποιώντας την προσομοίωση διερευνούν εικόνες SEM σταδιακά αυξανόμενης μεγέθυνσης, καταγράφουν παρατηρήσεις για την υφή της επιφάνειας των ανθρώπινων τριχών και μετρούν την διάμετρο της τρίχας και το μέσο πλάτος των φολιδών που σχηματίζονται.
Εξήγηση (Explain)	Οι μαθητές να εντοπίζουν τις διαφορές ανάμεσα στα δείγματα που μελετούν με βάση τις παρατηρήσεις και τις μετρήσεις που λαμβάνουν	Οι μαθητές ερμηνεύουν τις διαφορές στην μικρό-δομή των ανθρώπινων τριχών εντοπίζοντας τη σημασία της μικρό-δομής στην ταυτοποίηση δειγμάτων.
Επέκταση (Elaborate)	Οι μαθητές: - να συγκρίνουν την μικρό-δομή ανδρικής και γυναικείας τρίχας - να εφαρμόζουν τις γνώσεις τους για την ταυτοποίηση του ενόχου	Οι μαθητές διατυπώνουν υποθέσεις και συγκρίνουν τα δείγματα των δύο υπόπτων τόσο μεταξύ τους όσο και με το δείγμα της τρίχας του ενόχου για την ταυτοποίησή του.
Εκτίμηση (Evaluate)	Οι μαθητές - να επισημαίνουν τους παράγοντες που συμβάλλουν στην ταυτοποίηση των δειγμάτων ανθρώπινων τριχών - να περιγράφουν εικόνες SEM διαφορετικής μεγέθυνσης - να αναστοχάζονται απαντώντας σε ερωτήσεις κατανόησης	Οι μαθητές αναλύουν εικόνες SEM με βάση τα χαρακτηριστικά τους αιτιολογώντας αν το δείγμα αναφέρεται σε άνδρα ή σε γυναίκα και αξιολογούν την μαθησιακή εμπειρία και την διερευνητική διαδικασία που ακολούθησαν.

Οι μαθησιακοί στόχοι και τα αναμενόμενα μαθησιακά αποτελέσματα της διδακτικής παρέμβασης παρουσιάζονται στον Πίνακα 1.

Τα Φύλλα Εργασίας σχεδιάστηκαν ώστε οι μαθητές να διερευνούν σταδιακά εικόνες μεγαλύτερης μεγέθυνσης, επιχειρώντας να απαντήσουν στο ερώτημα που τίθεται. Διατυπώνουν υποθέσεις και παρατηρούν εικόνες της δομής της επιφάνειας δειγμάτων ανθρώπινων τριχών στην μικρό-κλίμακα, συλλέγοντας και αναλύοντας δεδομένα. Συγκεκριμένα, πραγματοποιούν παρατηρήσεις (υφή της επιφάνειας της τρίχας) και σε συνεργασία με τα μέλη της ομάδας τους καταγράφουν μετρήσεις (διάμετρος τρίχας, πλάτος φολιδών) ώστε να καταλήξουν σε ένα συμπέρασμα και να απαντήσουν στο αρχικό ερώτημα. Με σταδιακά μειούμενη καθοδήγηση αναπτύσσουν μέσα από αυτή την διαδικασία την κριτική τους σκέψη, ανταλλάσσοντας απόψεις και παρουσιάζοντας τις ιδέες τους στην τάξη, προς ενίσχυση των δεξιοτήτων επικοινωνίας. Ακολουθεί αναλυτική περιγραφή των δραστηριοτήτων για καθένα από τα στάδια του μοντέλου 5E.

**Εμπλοκή: Παρουσίαση Σεναρίου για την Κινητοποίηση του Ενδιαφέροντος των Μαθητών**

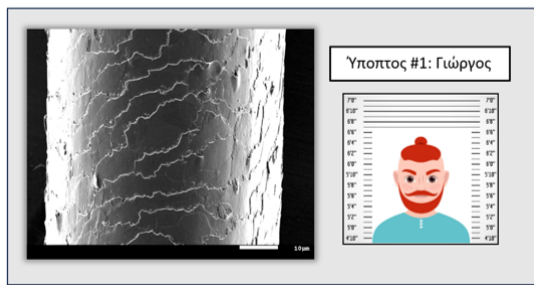
Στο στάδιο της Εμπλοκής παρουσιάζεται ένα σενάριο μυστηρίου στο οποίο οι μαθητές θα εμπλακούν ενεργά διερευνώντας στη συνέχεια εικόνες ανθρώπινων τριχών στο μικροσκόπιο και καταγράφοντας τις ιδέες τους μέσα από συζήτηση. Το σενάριο αφορά μια διάρρηξη έλαβε χώρα στο Μουσείο Τέχνης και Πολιτισμού και ένας πολύτιμος πίνακας ζωγραφικής έχει κλαπεί. Οι αστυνομικοί εντόπισαν κάποιες τρίχες από τα μαλλιά του δράστη στον τόπο του εγκλήματος και ο ντετέκτιβ που ανέλαβε την υπόθεση ανακάλυψε δύο πιθανούς υπόπτους, έναν άνδρα και μια γυναίκα, από τους οποίους πήρε δείγμα τριχών των μαλλιών τους. Σε συνεργασία με τα μέλη της ομάδας τους οι μαθητές καλούνται να δράσουν ως εγκληματολογικοί επιστήμονες και να βοηθήσουν στην εξιχνίαση της υπόθεσης, αναλύοντας τα στοιχεία που έχουν στη διάθεσή τους προκειμένου να ανακαλύψουν τον ένοχο.

**Εξερεύνηση: Μελετώντας την Δομή της Ανθρώπινης Τρίχας στο Μικροσκόπιο**

Στο στάδιο της Εξερεύνησης οι μαθητές πρόκειται να αναλύσουν την μικρό-δομή δειγμάτων ανθρώπινων τριχών χρησιμοποιώντας την προσομοίωση ηλεκτρονικού μικροσκοπίου σάρωσης VirtualSEM μέσω της οποίας έχουν τη δυνατότητα να παρατηρήσουν την επιφάνεια δειγμάτων στο μικροσκόπιο.

**Εικόνα 2. Ανάλυση Εικόνων SEM των Τριχών του Πρώτου Υπόπτου και του Ενόχου**

Έχετε στη διάθεσή σας τον φάκελο του πρώτου υπόπτου. Παρατηρήστε την εικόνα που προέκυψε από το μικροσκόπιο.

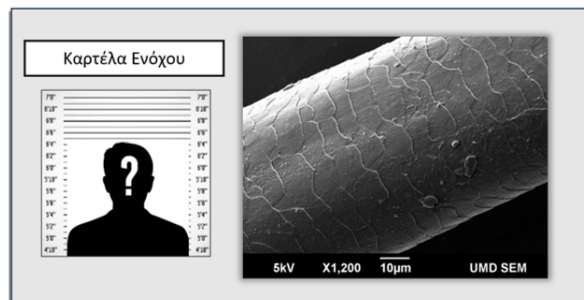


Παρατηρήστε την κλίμακα της εικόνας. Σε τι διάσταση αντιστοιχεί το μήκος της λευκής γραμμής που εμφανίζεται;.....  
 Έχετε στη διάθεσή σας έναν χάρακα. Σε πόσα εκατοστά αντιστοιχεί το μήκος της λευκής γραμμής;.....  
 Μπορείτε να προσδιορίσετε την διάμετρο της τρίχας στην παραπάνω εικόνα;.....

Παρατηρήστε τις φολίδες (ρωγμές) στην επιφάνεια της τρίχας. Σε συνεργασία με τα μέλη της ομάδας σας μετρήστε με τον χάρακα το πλάτος των φολιδών που δημιουργούνται. Καταγράψτε τρεις μετρήσεις για διαφορετικά σημεία και στη συνέχεια υπολογίστε το μέσο πλάτος των φολιδών. Συμπληρώστε τον ακόλουθο πίνακα.

	Μετρούμενη απόσταση 1 (cm)	Μετρούμενη απόσταση 2 (cm)	Μετρούμενη απόσταση 3 (cm)	Μέση απόσταση (cm)	Πραγματική απόσταση (μm)
Πλάτος φολιδών					

Παρατηρήστε την τρίχα του ενόχου που βρέθηκε στον τόπο του εγκλήματος. Σε συνεργασία με τα μέλη της ομάδας σας απαντήστε στις ακόλουθες ερωτήσεις.



Παρατηρήστε την διάταξη των φολιδών στην επιφάνεια της τρίχας. Είναι μεταξύ τους παράλληλες ή ακανόνιστες;.....

Πώς θα χαρακτηρίζατε την υφή της επιφάνειας της τρίχας; Φαίνεται να είναι λεία ή αδρή;.....

Σε συνεργασία με τα μέλη της ομάδας σας μετρήστε με τον χάρακα το πλάτος των φολιδών που δημιουργούνται. Επανάλαβετε τη διαδικασία τρεις φορές και στη συνέχεια υπολογίστε το μέσο πλάτος των φολιδών. Συμπληρώστε τον ακόλουθο πίνακα.

	Μετρούμενη απόσταση 1 (cm)	Μετρούμενη απόσταση 2 (cm)	Μετρούμενη απόσταση 3 (cm)	Μέση απόσταση (cm)	Πραγματική απόσταση (μm)
Πλάτος φολιδών					

Πόση είναι η διάμετρος της τρίχας σε μm;.....

Οι μαθητές καθοδηγούνται ως προς τη διαχείριση της προσομοίωσης και την λήψη εικόνων SEM σταδιακά αυξανόμενης μεγέθυνσης. Επιλέγουν δείγμα μιας ανθρώπινης τρίχας και το τοποθετούν στο μικροσκόπιο ώστε να διερευνήσουν την μικρό-δομή της επιφάνειας. Λαμβάνοντας τον ρόλο επιστημόνων, οι μαθητές διαχειρίζονται το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο και παρατηρούν εικόνες SEM και αυξάνοντας σταδιακά τη μεγέθυνση μπορούν να διακρίνουν περισσότερες λεπτομέρειες σχετικά με την δομή του δείγματος. Με το πέρας της διαδικασίας, οι μαθητές έχοντας διερευνήσει την δομή της επιφάνειας της τρίχας στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο, καλούνται να παρατηρήσουν τον φάκελο του πρώτου υπόπτου που παρουσιάζεται στο Φύλλο Εργασίας, απόσπασμα του οποίου φαίνεται στην εικόνα 2. Σε συνεργασία με τα μέλη της ομάδας τους παρακινούνται να μετρήσουν με τη βοήθεια χάρακα το μήκος της λευκής γραμμής που εμφανίζεται ώστε να μπορέσουν να προσδιορίσουν αποστάσεις στην φωτογραφία SEM. Έπειτα, ζητείται να λάβουν μετρήσεις της διαμέτρου της τρίχας καθώς και του μέσου πλάτους των φολιδών που σχηματίζονται, χαρακτηρίζοντας τον τρόπο διάταξής τους ως παράλληλες ή ακανόνιστες, καθώς και την υφή της επιφάνειας της τρίχας ως λεία ή αδρή. Στη συνέχεια, παρουσιάζεται ο φάκελος του ενόχου με μια εικόνα της τρίχας των μαλλιών του. Οι μαθητές θα πρέπει να ακολουθήσουν την ίδια μεθοδολογία προκειμένου να διερευνήσουν την μικρό-δομή της επιφάνειας της τρίχας που εντοπίστηκε στον τόπο του εγκλήματος.

### **Εξήγηση: Η Σημασία της Μικρό-δομής στην Ταυτοποίηση Δειγμάτων**

Στο στάδιο της Εξήγησης παρουσιάζονται ερωτήσεις που αφορούν την παρατήρηση των εικόνων που προηγήθηκαν. Ζητείται από τους μαθητές να εντοπίσουν διαφορές μεταξύ των εικόνων του δείγματος που παρατήρησαν μέσω της προσομοίωσης Virtual SEM, ενώ μέσα από συζήτηση, επιδιώκεται να αντιληφθούν τη σημασία της μικρό-δομής στην μελέτη στοιχείων που δεν είναι ορατά με γυμνό μάτι, παρέχοντας περισσότερες πληροφορίες και επιτρέποντας την λεπτομερή ανάλυση της ανθρώπινης τρίχας. Συγκρίνοντας την δομή της τρίχας του πρώτου υπόπτου και του ενόχου οι μαθητές θα διαπιστώσουν ότι η μικρό-δομή των ανθρώπινων τριχών δεν είναι η ίδια για κάθε άτομο, σημειώνοντας ομοιότητες και διαφορές μεταξύ των δύο δειγμάτων οι οποίες αφορούν την υφή της επιφάνειας, την διάμετρο της τρίχας και το μέσο πλάτος των φολιδών που σχηματίζονται. Στο συγκεκριμένο στάδιο πραγματοποιείται συζήτηση μεταξύ των μαθητών και ομαδοσυνεργατική καταγραφή των απόψεών τους ως προς την ενίσχυση της συνεργασίας, ενώ με το πέρας της διαδικασίας οι ιδέες των μελών κάθε ομάδας παρουσιάζονται στην τάξη και τα αποτελέσματα των μετρήσεων συγκρίνονται με εκείνα των υπολοίπων ομάδων για την ενίσχυση δεξιοτήτων επικοινωνίας.

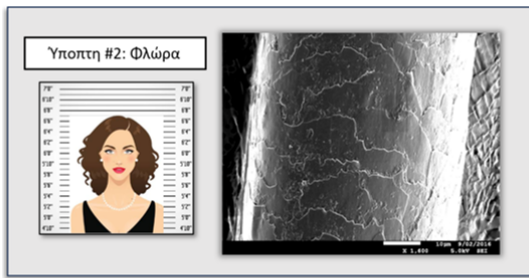
### **Επέκταση: Σύγκριση Ανδρικής και Γυναικείας Τρίχας, Αποκάλυψη του Ενόχου**

Στο στάδιο της Επέκτασης όπως φαίνεται στην Εικόνα 3, οι μαθητές καλούνται να εφαρμόσουν τις γνώσεις τους για έναν δεύτερο ύποπτο, διερευνώντας μια εικόνα SEM που αφορά σε δείγμα γυναικείας τρίχας. Σε συνεργασία με τα μέλη της ομάδας τους διατυπώνουν υποθέσεις όσον αφορά το διερευνητικό ερώτημα που τίθεται, εντοπίζοντας ποια στοιχεία της μικρό-δομής μπορούν να τους βοηθήσουν να διαπιστώσουν αν η τρίχα ανήκει σε άνδρα ή σε γυναίκα. Στη συνέχεια εξετάζουν τον φάκελο της δεύτερης ύποπτης καταγράφοντας τις παρατηρήσεις και τις μετρήσεις τους.

Με το πέρας της διαδικασίας, οι μαθητές παρακινούνται να συγκρίνουν τα δείγματα ανδρικής και γυναικείας τρίχας τόσο μεταξύ τους όσο και με το δείγμα του τόπου του εγκλήματος, αναλύοντας τα δεδομένα τους. Πρόκειται να διαπιστώσουν μέσα από συζήτηση ότι υπάρχουν διαφορές στην μορφολογία της επιφάνειας μεταξύ ανδρικής και γυναικείας τρίχας, οι οποίες οφείλονται σε μια συνδυασμένη επίδραση γενετικών, ορμονικών, περιβαλλοντικών και διατροφικών παραμέτρων. Οι μαθητές καταγράφουν τα στοιχεία τους σε έναν συγκεντρωτικό πίνακα και συμπληρώνουν τον Τελικό Φάκελο της υπόθεσης, καταλήγοντας στο δείγμα του υπόπτου που ταιριάζει περισσότερο με αυτό που βρέθηκε στον τόπο του εγκλήματος και ταυτοποιώντας τον ένοχο. Στο τέλος της δραστηριότητας, οι μαθητές

παρουσιάζουν τα αποτελέσματά τους στην τάξη και συζητούν με τα μέλη των υπόλοιπων ομάδων, αναπτύσσοντας δεξιότητες επικοινωνίας και συνεργασίας.

### Εικόνα 3. Διερεύνηση Φακέλου Δεύτερης Ύποπτης, Ανάλυση Μικρο-δομής Γυναικείας Τρίχας



Συμπληρώστε τον πίνακα στον Τελικό Φάκελο της υπόθεσης. Συγκρίνετε τις παρατηρήσεις και τις μετρήσεις σας για τα δείγματα των τριχών των δύο υπόπτων με εκείνες του δείγματος της τρίχας που βρέθηκε στον τόπο του εγκλήματος ώστε να ανακαλύψετε τον ένοχο.

Τελικός Φάκελος	Ένοχος	Γιώργος	Φλώρα
Διάμετρος Τρίχας			
Πλάτος Φολιδίων			
Υφή Επιφάνειας			

Παρατηρήστε την διάταξη των φολιδίων στην επιφάνεια της τρίχας. Είναι μεταξύ τους παράλληλες ή ακανόνιστες;.....

Πώς θα χαρακτηρίζατε την υφή της επιφάνειας της τρίχας; Φαίνεται να είναι λεία ή αβρή;.....

Μετρήστε με τον χάρακα το μέσο πλάτος των φολιδίων που δημιουργούνται και συμπληρώστε τον ακόλουθο πίνακα.

	Μετρούμενη απόσταση 1 (cm)	Μετρούμενη απόσταση 2 (cm)	Μετρούμενη απόσταση 3 (cm)	Μέση απόσταση (cm)	Πραγματική απόσταση (μm)
Πλάτος αυλακώσεων					

Πόση είναι η διάμετρος της τρίχας σε μm;.....



Με βάση τις μετρήσεις που καταγράψατε, ποιο από τα δείγματα των υπόπτων ταιριάζει περισσότερο με αυτό που βρέθηκε στον τόπο του εγκλήματος; Ποιος είναι ο ένοχος;

Παρουσιάστε τα αποτελέσματα στην τάξη. Συμφωνούν οι απόψεις σας με εκείνες των άλλων ομάδων;



### Εκτίμηση: Ερωτήσεις Κατανόησης και Αναστοχασμού

Στο στάδιο της Εκτίμησης οι μαθητές σημειώνουν ομοιότητες και διαφορές μεταξύ ανδρικής και γυναικείας ανθρώπινης τρίχας, καταλήγοντας σε ένα συμπέρασμα όσον αφορά το αρχικό διερευνητικό ερώτημα, επισημαίνοντας τους παράγοντες που συμβάλλουν στην ταυτοποίηση των δειγμάτων (διάμετρος, πλάτος φολιδίων, υφή επιφάνειας). Έπειτα παρουσιάζονται στο Φύλλο Εργασίας εικόνες SEM διαφορετικής μεγέθυνσης τις οποίες θα πρέπει να περιγράψουν, αιτιολογώντας αν αναφέρονται σε ανδρική ή γυναικεία τρίχα αντίστοιχα. Στο τέλος του Φύλλου Εργασίας παρατίθενται επιπλέον ορισμένες αναστοχαστικές ερωτήσεις, όπως φαίνεται στην Εικόνα 4, που αφορούν την διαδικασία που ακολούθησαν οι μαθητές για να αναλύσουν τα στοιχεία και να καταλήξουν στον ένοχο. Αφού επιβεβαιώσουν ή διαψεύσουν την αρχική τους υπόθεση, ζητείται επιπλέον να αξιολογήσουν την προσομοίωση του ηλεκτρονικού μικροσκοπίου VirtualSEM που χρησιμοποίησαν, αναφέροντας στοιχεία που τους βοήθησαν καθώς και τυχόν δυσκολίες που κλήθηκαν να αντιμετωπίσουν κατά την ανάλυση των δειγμάτων. Οι μαθητές καταγράφουν τις απόψεις τους μέσα από συζήτηση και στη συνέχεια παρουσιάζουν τα αποτελέσματά τους στην τάξη συγκρίνοντας τις ιδέες τους με εκείνες των συμμαθητών τους και αναπτύσσοντας δεξιότητες επικοινωνίας.

### Εικόνα 4. Αξιολόγηση και Αναστοχαστικές Ερωτήσεις

#### Αναστοχασμός

Καταφέρατε με την ομάδα σας να αναλύσετε τα στοιχεία και να καταλήξετε στον ένοχο;.....

Ποια στοιχεία της μικρο-δομής σας βοήθησαν να ταυτοποιήσετε τον ένοχο;.....

Ήταν σωστή η αρχική σας υπόθεση;.....

Σας βοήθησε η προσομοίωση να μελετήσετε δείγματα ανθρώπινης τρίχας στο μικροσκόπιο SEM; Ποια στοιχεία της προσομοίωσης ήταν χρήσιμα;.....

Ποιες δυσκολίες αντιμετωπίσατε όσον αφορά την ανάλυση των δειγμάτων;.....

## Συμπεράσματα

Η ανάλυση της μικρό-δομής μέσω εικόνων SEM σε ένα διδακτικό σενάριο εγκληματολογίας αναδεικνύει την αξία της διεπιστημονικής προσέγγισης στη διδασκαλία. Μέσα από μια διερευνητική διαδικασία οι μαθητές έχουν την ευκαιρία να εξασκηθούν στην ανάλυση δεδομένων, παρατηρώντας εικόνες SEM σταδιακά αυξανόμενης μεγέθυνσης, γεγονός το οποίο συμβάλλει στην εξοικείωσή τους με επιστημονικές πρακτικές, καθώς και στην ανάπτυξη δεξιοτήτων παρατήρησης, ερμηνείας και επίλυσης προβλημάτων. Η προσέγγιση θεμάτων νάνο-τεχνολογίας μέσω της συμμετοχής των μαθητών στην επίλυση ενός σεναρίου εγκληματολογίας τύπου CSI μπορεί να συμβάλλει στην ανάπτυξη των ερευνητικών ικανοτήτων των μαθητών και την ενίσχυση του επιστημονικού τους εγγραμματισμού, προσφέροντας ένα ρεαλιστικό πλαίσιο εφαρμογής της επιστήμης. Η συγκεκριμένη διδακτική παρέμβαση μπορεί να ενισχύσει την κατανόηση της μικρό-δομής με την παρατήρηση εικόνων SEM ανθρώπινων τριχών, διεγείροντας το ενδιαφέρον των μαθητών για την μάθηση. Οι δραστηριότητες που σχεδιάστηκαν στοχεύουν στην ενεργό εμπλοκή των μαθητών στην εκπαιδευτική διαδικασία καθιστώντας την μάθηση περισσότερο βιωματική και συμβάλλοντας στην κατανόηση της μικρό-δομής και στην καλλιέργεια θετικών στάσεων για την επιστήμη.

Σε συνέχεια της παρούσας εργασίας ενδιαφέρον έχει η πιλοτική εφαρμογή της διδακτικής παρέμβασης που σχεδιάστηκε, ως προς την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητάς της αναφορικά με την κατανόηση της μικρό-δομής από τους μαθητές και την ενίσχυση των δεξιοτήτων τους. Η συλλογή δεδομένων θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί μέσω της χορήγησης ερωτηματολογίων πριν και μετά την παρέμβαση για την αποτύπωση ενδεχόμενης γνωστικής βελτίωσης απέναντι στη μικρό-δομή και της μεταβολής των στάσεων των μαθητών με την εμπλοκή τους με τα ψηφιακά μέσα. Επιπλέον, η συστηματική παρατήρηση της εκπαιδευτικής διαδικασίας σε συνδυασμό με συνεντεύξεις θα επέτρεπε την βαθύτερη κατανόηση της μαθησιακής εμπειρίας. Η υλοποίηση της παρέμβασης θα μπορούσε να συμβάλλει στον εντοπισμό τυχόν δυσκολιών ή σημείων προς βελτίωση, προσφέροντας μέσω μιας τέτοιας εμπειρικής μελέτης πληροφορίες για τη διαμόρφωση στρατηγικών που να ανταποκρίνονται καλύτερα στις ανάγκες των μαθητών.

## Βιβλιογραφία

- Basso, A., Chiorri, C., Bracco, F., Carnasciali, M. M., Alloisio, M., & Grotti, M. (2018). Improving the interest of high-school students toward chemistry by crime scene investigation. *Chemistry Education Research and Practice*, 19(2), 558–566. <https://doi.org/10.1039/c7rp00232g>
- Bybee, R. W., Taylor, J. A., Gardner, A., Van Scotter, P., Carlson, J., Westbrook, A., & Landes, N. (2006). *The BSCS 5E instructional model: Origins and effectiveness*. [https://media.bsccs.org/bsccsmw/5es/bsccs\\_5e\\_full\\_report.pdf](https://media.bsccs.org/bsccsmw/5es/bsccs_5e_full_report.pdf)
- Chu, F., Anex, D. S., Jones, A. D., & Hart, B. R. (2020). Automated analysis of scanning electron microscopic images for assessment of hair surface damage. *Royal Society Open Science*, 7(1). <https://doi.org/10.1098/rsos.191438>
- Egerton, R. F. (2016). *Physical Principles of Electron Microscopy: An Introduction to TEM, SEM, and AEM* (2<sup>η</sup> εκδ.). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-39877-8>
- Kim, D. H., Oh, S. H., & Chang, B. S. (2024). Effects of excessive bleaching on hair: Comparative analysis of external morphology and internal microstructure. *Applied Microscopy*, 54, 11. <https://doi.org/10.1186/s42649-024-00104-0>
- Rogers, G. E. (2019). Known and unknown features of hair cuticle structure: A brief review. *Cosmetics*, 6(2), 32. <https://doi.org/10.3390/cosmetics6020032>
- Stevens, S. Y., Sutherland, L. M., & Krajcik, J. S. (2009). *The big ideas of nanoscale science and engineering*. NSTA press.
- Yang, F. C., Zhang, Y., & Rheinstädter, M. C. (2014). The structure of people's hair. *PeerJ*, 2, e619. <https://doi.org/10.7717/peerj.619>