

## Ανάπτυξη αντιμικροβιακών υφασμάτων με προσθήκη αργύρου

Σ. Καλαντζή<sup>1</sup>, Ε. Καλογεράς<sup>1</sup>, Π. Μανιάτη<sup>1</sup>, Α. Σουσάνογλου<sup>1</sup>, Δ. Κέκος<sup>1\*</sup>  
Γ.Κατσαρός<sup>2</sup>, Ν.Ξανθόπουλος<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Χημικών Μηχανικών, Εργαστήριο Βιοτεχνολογίας,  
Ηρώων Πολυτεχνείου 9, 15780, Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου

\*e-mail: [kekos@chemeng.ntua.gr](mailto:kekos@chemeng.ntua.gr)

<sup>2</sup>ΕΛΚΕΔΕ Κέντρο Τεχνολογίας και Σχεδιασμού

12<sup>ο</sup> Χμ Εθνικής Οδού Αθηνών –Λαμίας 14452 Μεταμόρφωση Αθήνα

e-mail: [gkat@elkede.gr](mailto:gkat@elkede.gr), [nxan@elkede.gr](mailto:nxan@elkede.gr)

### Περίληψη

Με την τεχνική sol-gel επιτεύχθηκε παρασκευή αντιμικροβιακών υφασμάτων σε χαμηλές θερμοκρασίες και με ιδιαίτερα μικρό κόστος. Η ανάπτυξη των αντιμικροβιακών υφασμάτων πραγματοποιήθηκε με χρήση υδρύαλου για την παρασκευή πυριτικής γέλης και διάλυμα νιτρικού αργύρου για την εναπόθεση του αργύρου στα υφάσματα. Η αντιμικροβιακή δράση των επικαλυμμένων με άργυρο υφασμάτων μελετήθηκε χρησιμοποιώντας ένα αρνητικό κατά Gram βακτήριο, την *Escherichia coli* ενώ η αντιμυκητιακή με χρήση του μύκητα *Aspergillus niger*. Στα επεξεργασμένα υφάσματα, παρουσιάστηκε εξαιρετική αντιμικροβιακή δράση, η οποία διατηρήθηκε ακόμα και μετά από πλύσεις. Η συγκέντρωση των ιόντων αργύρου προσδιορίστηκε με τη μέθοδο της φασματοσκοπίας ατομικής απορρόφησης (AAS). Η κρυσταλλική δομή του αργύρου στα υφάσματα μελετήθηκε με τη τεχνική της περίθλασης ακτίνων X. Οι εικόνες των υφασμάτων, που ελήφθησαν με SEM μικροσκόπιο, εμφάνισαν νανοσωματίδια αργύρου με καλή διασπορά. Ελέγχθηκαν ιδιότητες που σχετίζονται με την τελική χρήση, όπως αντοχή σε εφελκυσμό, αεροδιαπερατότητα, τσαλάκωμα, κ.α, με σκοπό τον έλεγχο της συμπεριφοράς των επεξεργασμένων υφασμάτων μετά από προσομοίωση συνθηκών περιποίησης (πλύσεις), τόσο ως προς την αντοχή και διάρκεια της αντιμικροβιακής επεξεργασίας, όσο και ως προς την μεταβολή των τιμών των ιδιοτήτων αυτών.

### Abstract

A low temperature and cost-effective process for antimicrobial finishing of cotton textiles has been developed by sol-gel method. The antimicrobial treatment was performed by treating cotton textile with silica sols from water glass and then with silver nitrate solution. The antimicrobial activity of the silver-containing textile samples was determined by using *E. coli* as a model for Gram-negative bacteria. The fungicidal effect of textile samples was determined with *Aspergillus niger* spores inoculated onto potato-dextrose-agar-plates. The results indicated that the treated textiles exhibited significantly improved antimicrobial effect and laundering durability. The residual concentration of silver ion on fabrics was estimated by AAS. The state of silver in the textile was described using the X-ray diffraction method. SEM images of treated textiles indicated silver nanoparticles which were well dispersed on the fabric surface. Properties of treated textiles were studied, in order to check and compare the behavior of the fabrics after the treatment, in terms of durability of the treatment after care simulation.

### 1. Εισαγωγή

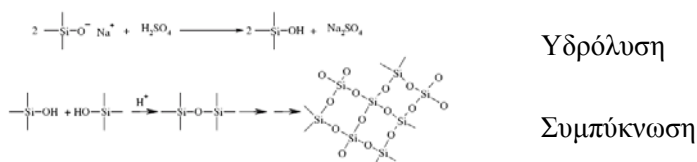
Μία από τις σημαντικότερες εφαρμογές της νανοτεχνολογίας στην κλωστοϋφαντουργία είναι η παρασκευή υφασμάτων με μικροβιοκτόνο ουσία. Τέτοιου είδους υφάσματα βρίσκουν εφαρμογή στα ιατρικά επαγγέλματα (στην ένδυση, στον ιματισμό, σε αντισηπτικούς επιδέσμους και γάζες) και στον αθλητισμό (ένδυση κ.α.).

Η χρησιμοποίηση διαφόρων νανοσωματιδίων έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων με διαφορετικές λειτουργικότητες. Κυριότερος αντιμικροβιακός παράγοντας είναι ο άργυρος, για τον οποίο υπάρχουν αναφορές χρήσης του στη διεθνή βιβλιογραφία από το 1000 π. Χ. , Rai et al. (2009). Έχει αποδειχθεί ότι τα

νανοσωματίδια αργύρου και άλλα νανοσωματίδια όπως (TiO<sub>2</sub>, ZnO), σε συνδυασμό με συγκολλητικά μέσα και εφαρμογή υγρών χημικών μεθόδων, προσδίδουν ιδιότητες σε υφάσματα όπως, (α) αντιμικροβιακές (β) αντιμυκητιακές (γ) προστατευτικές από την ηλεκτρομαγνητική, την υπέρυθη και τη UV ακτινοβολία, (δ) αντοχή στη τριβή, (ε) αντοχή στην καύση (στ) αυτοκαθαρισμού (η) υδροαπωθητικές κ.α., Mahltig et al. (2004).

Η sol-gel μέθοδος είναι η πιο διαδεδομένη και αποτελεσματική μέθοδος σύνθεσης και εναπόθεσης νανοσωματιδίων σε κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα. Με τη μέθοδο αυτή, χρησιμοποιώντας πρόδρομες ουσίες και διαλύματα που περιέχουν κατάλληλα άλατα μετάλλων, νανοσωματίδια Ag, TiO<sub>2</sub>, ZnO συντίθενται σε gel και εναποτίθενται σε πυριτικά γυαλιά και πυριτικές μήτρες, που το μέγεθός τους ποικίλει από 5-100nm, ενώ επίσης επιτυγχάνεται η προσαρμογή τους και σε υποστρώματα που αντέχουν χαμηλές θερμοκρασίες. Η συγκεκριμένη τεχνική βασίζεται στην **υδρόλυση** διαφόρων αλκοξειδίων ή οργανομεταλλικών πρόδρομων ενώσεων (precursors), την οποία διαδέχεται η αντίδραση **συμπύκνωσης** των υδροξειδίων που παράγονται, με κατάληξη τη **δημιουργία ανόργανων δικτύων**, (μετάβαση του συστήματος από την υγρή στη στερεή φάση). Οι πρόδρομες ενώσεις, που χρησιμοποιούνται περισσότερο για τη **δημιουργία ανόργανων δικτύων**, είναι τα αλκοξειδία του πυριτίου, όπως δ/μα του ορθοπυριτικού οξέος (**TEOS**, tetraethyl orthosilicate or tetraethoxysilane), δ/μα του τετραμεθυλικού αλκοξειδίου του πυριτίου (**TMOS**, Tetramethyl orthosilicate) και παράγωγα του πυριτίου, όπως **υδρύαλος** (SiO<sub>2</sub> - Na<sub>2</sub>O), που προτιμάται, διότι είναι φθηνή πρώτη ύλη.

Όταν εφαρμόζεται υδρύαλος ως συγκολλητικό μέσο, ο σχηματισμός της μήτρας πυριτίου και ο εγκλωβισμός του αργύρου στην επιφάνεια του υφάσματος πραγματοποιείται ως εξής: Τα υφάσματα εμποτίζονται στο διάλυμα υδρύαλου και οι πρόδρομες ενώσεις, που εισχωρούν στις ίνες τους, υδρολύονται παρουσία οξέος και σχηματίζεται πυριτικό οξύ. Στη συνέχεια, το ύφασμα ξηραίνεται και τα μόρια του πυριτικού οξέος συμπυκνώνονται και σχηματίζουν ένα ξηρό gel, το οποίο, μετά από επιπλέον ξήρανση, σκληραίνει σχηματίζοντας μια πορώδη μήτρα οξειδίου του πυριτίου (σχήμα 1), που περιβάλλει τις ίνες του υφάσματος, Xing et al. (2007).



**Σχήμα 1: Μηχανισμός αντίδρασης της υδρύαλου προς πυριτικό πλέγμα.**

Για τον εγκλωβισμό του αργύρου στη μήτρα πυριτίου, το ύφασμα εμβαπτίζεται σε δ/μα νιτρικού αργύρου καταλήγοντας στον εγκλωβισμό των ιόντων του.

## 2. Μέθοδοι και Υλικά

### 2.1 Παρασκευή αντιμικροβιακών υφασμάτων

Τα υφάσματα τα οποία χρησιμοποιήθηκαν ήταν τα εξής: 1) υφαντό ύφασμα 100% βαμβακερό προλευκασμένο, βάρους 200gr/m<sup>2</sup> με ύφανση διαγώνιο 2/1. 2) Πλεκτό ύφασμα 100% βαμβακερό προλευκασμένο, βάρους 160 gr/m<sup>2</sup> μονόπλακο.

Για την παρασκευή **αντιμικροβιακών βαμβακερών υφασμάτων** χρησιμοποιήθηκαν: υδρύαλος (SiO<sub>2</sub> to Na<sub>2</sub>O), θειικό οξύ (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), νιτρικός άργυρος (AgNO<sub>3</sub>). Η τεχνική που εφαρμόστηκε ήταν η sol-gel. Αρχικά παρασκευάστηκε υδατικό δ/μα υδρύαλου 5% και πραγματοποιήθηκε οξύνισή του με H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (0.05M) μέχρι pH 11. Ακολούθησε εμποτισμός τους στο silica sol, ξήρανση, φιζάρισμα, ξέπλυμα με απιονισμένο νερό και ξήρανση. Η εναπόθεση του αργύρου στη μήτρα πυριτίου πραγματοποιήθηκε με εμποτισμό των δειγμάτων σε δ/μα νιτρικού αργύρου, ξήρανση αυτών, ξέπλυμα και φιζάρισμα για τη σταθεροποίηση του αργύρου στο πυριτικό πλέγμα.

### 2.2 Μελέτη αντιμικροβιακής και αντιμυκητιακής δράσης

### 2.2.1 Αντιμικροβιακή δράση έναντι του βακτηρίου *Escherichia coli*

Παρασκευάστηκε θρεπτικό μέσο για την ανάπτυξη κυττάρων του βακτηρίου *E. coli*. Το pH ρυθμίστηκε στο 7.0 και αποστειρώθηκε (121°C για 20 min), ακολούθησε **εμβολιασμός** και επώαση της προκαλλιέργειας σε θερμοστατούμενο αναδευτήρα (180 rpm, 24h, 37 °C). Για τον προσδιορισμό της κυτταρικής ανάπτυξης στην υγρή καλλιέργεια χρησιμοποιήθηκε η **μέθοδος της θολοσιμετρίας** ( $A_{600}$ ).

### 2.2.1 Ποιοτικός προσδιορισμός αντιμικροβιακής δράσης υφασμάτων

Προσδιορίστηκε ποιοτικά η αντιμικροβιακή δράση των υφασμάτων με τη **μέθοδο των παράλληλων γραμμών σε στερεό θρεπτικό υπόστρωμα**. Παρασκευάστηκε θρεπτικό υπόστρωμα και εμβολιάστηκε με την υγρή καλλιέργεια του μικροοργανισμού *E. coli* σχηματίζοντας παράλληλες γραμμές. Μετά τον εμβολιασμό, το δείγμα υφάσματος σε σχήμα κύκλου τοποθετήθηκε πάνω στις χαραγμένες γραμμές της υγρής καλλιέργειας και επώαστηκε για 24 ώρες στις άριστες συνθήκες ανάπτυξης του μικροοργανισμού. Ποιοτικά, η αντιμικροβιακή δράση του υφάσματος υποδηλώνεται από την εμφάνιση μιας ζώνη αναστολής του μικροοργανισμού περιμετρικά του υφάσματος.

### 2.2.2 Ποσοτικός προσδιορισμός αντιμικροβιακής δράσης υφασμάτων

Η αντιμικροβιακή δράση των υφασμάτων, προσδιορίστηκε ποσοτικά με καταμέτρηση του αριθμού των βιώσιμων κυττάρων που προήλθαν από δείγμα υφάσματος το οποίο είχε εμποτιστεί με υγρή καλλιέργεια 1 ημέρας. Συγκεκριμένα, προετοιμάστηκε υγρή καλλιέργεια του *E. coli*, εμβολιάστηκε 1mL αυτής σε 1g υφάσματος και επώαστηκε για 24 ώρες στους 37°C. Έπειτα προστέθηκαν 100mL αποστειρωμένου νερού και λήφθηκαν 100 μL εναιωρήματος, τα οποία διεσπάρησαν με γυάλινο διανομέα σε τρυβλία Petri και επώαστηκαν για 24 ώρες. Μετά την επώαση των τρυβλίων πραγματοποιήθηκε καταμέτρηση των αποικιών και καταγράφηκε ο αριθμός των βιώσιμων μονάδων (CFU) ανά mL αρχικής καλλιέργειας.

### 2.2.3 Αντιμυκητιακή δράση έναντι του μύκητα *Aspergillus Niger* DSM 823

Η αντιμυκητιακή δράση των υφασμάτων πραγματοποιήθηκε ποιοτικά. Η ανάπτυξη του μύκητα πραγματοποιήθηκε σε τρυβλία Petri με θρεπτικό μέσο PDA (potato-dextrose-agar) παρουσία υφάσματος.

### 2.3 Προσδιορισμός συγκέντρωσης αργύρου στο ύφασμα

Ο ποσοτικός προσδιορισμός της συγκέντρωσης του αργύρου πραγματοποιήθηκε με κάψιμο του υφάσματος με πυκνό νιτρικό οξύ, αραίωσή του με νερό και διήθηση του δ/ματος με πολυεστερικά φίλτρακια (PET- 45/25). Η μέτρηση της συγκέντρωσης του αργύρου στο ύφασμα πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο της φασματοσκοπίας ατομικής απορρόφησης (AAS).

### 2.4 Ταυτοποίηση χαρακτηριστικών ομάδων (FTIR).

Η ταυτοποίηση των χαρακτηριστικών ομάδων των επεξεργασμένων υφασμάτων έγινε με τη μέθοδο FTIR, η οποία παρέχει πληροφορίες που σχετίζονται με τη μοριακή δομή των ενώσεων που περιέχονται στο υπό ανάλυση δείγμα. Η μέθοδος εφαρμόζεται κυρίως για την ταυτοποίηση των οργανικών ουσιών, ωστόσο επιτρέπει και την ταυτοποίηση ορισμένων ανόργανων. Στη παρούσα μελέτη χρησιμοποιήθηκε φασματοφωτόμετρο FTIR Nicolet (750 Magma Series) (ταχύτητα σάρωσης 100 scans, διαχωριστικής ικανότητας 4cm<sup>-1</sup>) και ο προσδιορισμός των φασμάτων έγινε με τη χρήση του λογισμικού Essential FTIR.

### 2.5 Χαρακτηρισμός XRD

Η κρυσταλλική δομή του αργύρου μελετήθηκε με τη τεχνική της περίθλασης ακτίνων X. Με τη χρήση του οργάνου Siemens D-5000, χρησιμοποιώντας ακτινοβολία Cu-Kα, γωνία πρόσπτωσης 5°-90°, με ρυθμό μεταβολής 0.01°/sec προέκυψε το φάσμα περίθλασης ακτίνων X.

### 2.6 Μελέτη της μικροδομής των επικαλυμμένων με άργυρο βαμβακερών ινών

Ο προσδιορισμός της μικροδομής των επικαλυμμένων με άργυρο βαμβακερών υφασμάτων πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια ηλεκτρονικού μικροσκοπίου σάρωσης (SEM). Το όργανο που χρησιμοποιήθηκε είναι το μοντέλο FEI Quanta 200 συνδυασμένο με ανιχνευτή ενεργειακής διασποράς ακτίνων X-EDAX (Energy Dispersive X-Ray Detector), ο οποίος επιτρέπει στοιχειακή και ποσοτική ανάλυση των δειγμάτων χωρίς να τα καταστρέφει. Τα προς μελέτη υφάσματα επικολλήθηκαν σε μεταλλική επιφάνεια με συγκολλητική ταινία από άνθρακα και επιχρυσώθηκαν με τη μέθοδο επικάλυψης σε κενό (sputtering). Στα δείγματα πραγματοποιήθηκε ανάλυση της μοριακής τους σύστασης.

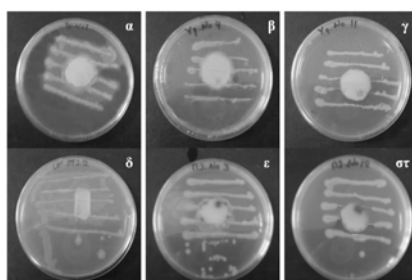
### 3. Αποτελέσματα - Συμπεράσματα

#### 3.1 Επίδραση της συγκέντρωσης Ag στην αντιμικροβιακή δράση των υφασμάτων

Προσδιορίστηκε ποιοτικά και ποσοτικά η αντιμικροβιακή δράση υφαντών και πλεκτών βαμβακερών υφασμάτων επεξεργασμένων με διαφορετικές συγκεντρώσεις νιτρικού αργύρου (5ppm, 10 ppm, 20 ppm, 40 ppm, 80 ppm) για 0, 5 και 10 πλύσεις. Μετρήθηκε το ποσοστό συγκράτησης Ag<sup>+</sup>(mg/g<sub>υφάσματος</sub>) για όλες τις συνθήκες. (Πίνακα 1).

**Πίνακας 1: Συγκράτηση Ag και αντιμικροβιακή δράση βαμβακερών υφασμάτων, θερμική επεξεργασία στους 30° C**

	Συγκολλητικό μέσο	Αριθμός πλύσεων					
		5% υδρύαλος			10		
	AgNO <sub>3</sub> (ppm)	0	5	10	0	5	10
		Συγκράτηση Ag <sup>+</sup> (%)			Αντιμικροβιακή δράση (%)		
Υφαντά βαμβακερά υφάσματα	5	10	3	0	7	0	0
	10	18	11	2	58	26	0
	20	51	36	11	77	54	10
	40	63	58	18	88	84	36
	80	78	71	42	97	94	51
Πλεκτά βαμβακερά υφάσματα	5	0	0	0	0	0	0
	10	2	0	0	6	0	0
	20	36	17	4	55	40	0
	40	67	60	58	78	82	78
	80	91	84	75	99	92	86



**Εικόνα 1. Ποιοτικός προσδιορισμός αντιμικροβιακής δράσης. Υφαντά υφάσματα: (α) ανεπεξέργαστο, (β) επεξεργασμένο με 5 ppm και (γ) 80 ppm AgNO<sub>3</sub>, Πλεκτά υφάσματα: (δ) ανεπεξέργαστο, (ε) επεξεργασμένο με 5 ppm και (στ) 80 ppm AgNO<sub>3</sub>, μηδενικές πλύσεις**

Η επεξεργασία των υφασμάτων με 80 ppm AgNO<sub>3</sub> εμφάνισε την καλύτερη αντιμικροβιακή δράση τόσο στα υφαντά όσο και στα πλεκτά βαμβακερά υφάσματα. Μεγάλο ποσοστό αντιμικροβιακής δράσης παραμένει μετά από πέντε και δέκα πλύσεις (πίνακας 1). Τα πλεκτά υφάσματα φαίνεται να ακολουθούν διαφορετική συμπεριφορά ως προς την αντιμικροβιακή δράση μετά τις πλύσεις σε σχέση με τα υφαντά. Η διαφορετική συμπεριφορά

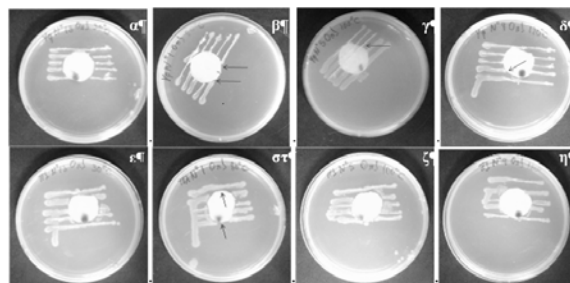
μπορεί να αποδοθεί στη διαφορετική πλέξη. Η αντιμικροβιακή δράση των υφασμάτων εξαρτάται από το ποσοστό συγκράτησης των  $Ag^+$  ( $mg/g_{\text{υφάσματος}}$ ) στο ύφασμα. Όσο αυξάνεται η συγκράτηση των  $Ag^+$  τόσο αυξάνεται και η αντιμικροβιακή δράση των βαμβακερών υφασμάτων.

### 3.2 Επίδραση της θερμοκρασίας στην αντιμικροβιακή δράση των υφασμάτων

Μελετήθηκε η επίδραση της θερμοκρασίας (30, 80, 100 και 120 °C) στη συγκολλητική ικανότητα του αργύρου στα υφάσματα (πλεκτά και υφαντά) καθώς και η αντιμικροβιακή τους δράση για 0, 1, 5 και 10 πλύσεις. Προσδιορίστηκε ποιοτικά και ποσοτικά η αντιμικροβιακή τους δράση στις διαφορετικές θερμοκρασίες και μετρήθηκε το ποσοστό συγκράτησης  $Ag^+$  ( $mg/g_{\text{υφάσματος}}$ ) για όλες τις συνθήκες (Πίνακα 2)

**Πίνακας 2: Αντιμικροβιακή δράση βαμβακερών υφασμάτων, συγκολλητικό μέσο υδρύαλος 5% 80 ppm  $AgNO_3$**

	Θερμική επεξεργασία υφασμάτων T °C	Αριθμός πλύσεων			
		0	1	5	10
		Αντιμικροβιακή δράση (%)			
Υφαντά βαμβακερά υφάσματα	30	96.3	99	98.7	32
	80	>99.99	>99.99	98.2	43
	100	>99.99	99	88	60
	120	>99.99	>99.99	94.6	88
Πλεκτά βαμβακερά υφάσματα	30	99	99	97	80
	80	>99.99	>99.99	91	61
	100	>99.99	99.77	99.51	80
	120	>99.99	>99.99	98	82



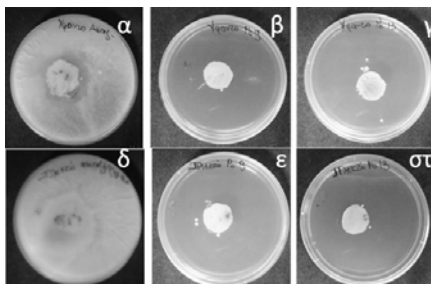
**Εικόνα 2. Ποιοτικός έλεγχος. Ύφασμα 80ppm  $AgNO_3$ , 0 πλύσεις: Υφαντό (α) 30° C, (β) 80° C, (γ) 100° C, (δ) 120° C. Πλεκτό (ε) 30° C, (στ) 80° C, (ζ) 100° C, (η) 120° C**

Η εφαρμογή υψηλών θερμοκρασιών κατά τη διαδικασία εναπόθεσης αργύρου πάνω στο υφαντό ύφασμα είχε θετική επίδραση στην συγκολλητική ικανότητα του αργύρου στη μήτρα πυριτίου και κατ' επέκταση στην αντιμικροβιακή δράση των υφασμάτων. Τα υφαντά υφάσματα της συνθήκης (5% υδρύαλος, 80ppm  $AgNO_3$ , 120°C) εμφανίζουν έντονη αντιμικροβιακή δράση και μετά από δέκα πλύσεις (ISO 6330). Αντίθετα τα πλεκτά υφάσματα δεν παρουσίασαν περαιτέρω αύξηση της αντιμικροβιακής τους δράσης με την εφαρμογή υψηλών θερμοκρασιών.

### 3.3 Αντιμικροβιακή δράση των υφασμάτων

Μελετήθηκε ποιοτικά η αντιμικροβιακή δράση των υφασμάτων (υφαντών, πλεκτών). Επιλέχθηκαν τα δείγματα που εμφάνισαν τη βέλτιστη αντιμικροβιακή δράση (εικόνες 3).

Τα επικαλυμμένα με άργυρο υφάσματα παρουσίασαν αντιμυκητιακή δράση μετά από επώαση τριών ημερών του μύκητα *Aspergillus Niger* DSM 823, σε αντίθεση με τα ανεπεξέργαστα όπου παρατηρήθηκε έντονη ανάπτυξή του.



**Εικόνα 3. Αντιμυκητιακή δράση υφασμάτων (80ppm AgNO<sub>3</sub>, 0 πλύσεις). (α) ανεπεξέργαστο υφαντό ύφασμα, (β) 120° C, (γ) 30° C, (δ) ανεπεξέργαστο πλεκτό ύφασμα, (ε) 120° C, (στ) 30°**

### 3.4 Μελέτη της κρυσταλλικής δομής του αργύρου (XRD)

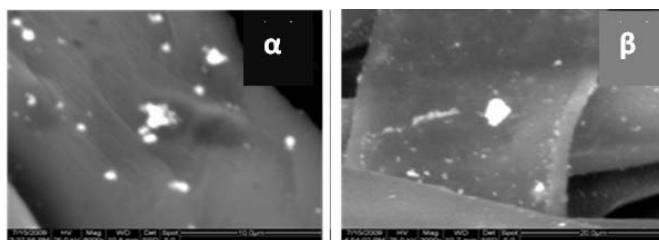
Τα φάσματα περίθλασης ακτίνων X των βαμβακερών υφασμάτων που προέκυψαν μετά την επικάλυψη με υδρύαλο και άργυρο δεν παρουσίασαν διαφοροποιήσεις στην κρυσταλλική τους δομή σε σχέση με τα ανεπεξέργαστα υφάσματα. Το γεγονός αυτό πιθανά να οφείλεται στη μικρή συγκέντρωση του αργύρου στο ύφασμα, ενώ οι κορυφές του SiO<sub>2</sub> επικαλύπτονται από τις μεγάλες και φαρδιές κορυφές της κυτταρίνης.

### 3.5 Ταυτοποίηση χαρακτηριστικών ομάδων (FTIR)

Τα φάσματα των επεξεργασμένων υφαντών και πλεκτών βαμβακερών υφασμάτων εμφάνισαν πλατιές μπάντες κοντά στον κυματαριθμό 3300cm<sup>-1</sup> που αντιστοιχούν σε δονήσεις που προκαλούνται από υδροξυλομάδες, δηλαδή σε M-OH, όπου M=Si. Οι πλατιές μπάντες είναι αποτέλεσμα των ενδομοριακών και διαμοριακών δεσμών υδρογόνου των Si-OH. Τα αποτελέσματα υποδηλώνουν την ύπαρξη ομάδων Si-OH στις βαμβακερές ίνες. Οι κορυφές που εμφανίστηκαν στα 750-1050cm<sup>-1</sup> (795, 934, 1027) είναι χαρακτηριστικές των δονήσεων του δεσμού Si-O

### 3.6 Μελέτη της μικροδομής των επικαλυμμένων με άργυρο βαμβακερών ινών

Από τις εικόνες που ελήφθησαν αποδείχθηκε πως η sol-gel τεχνική είναι αποτελεσματική για την εναπόθεση αργύρου πάνω στην επιφάνεια βαμβακερών υφασμάτων. Εμφανίστηκε καλή διασπορά του αργύρου κατά μήκος των ινών, παρατηρήθηκαν νανοσωματίδια και συσσωματώματα αργύρου της τάξεως των 50 nm έως 100 nm και 500nm έως 2μm αντίστοιχα.

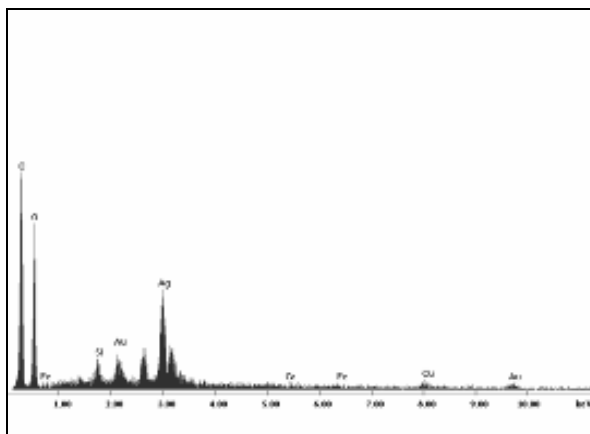


**Εικόνα 4 Εικόνα από SEM μικροσκόπιο (α) Υφαντό βαμβακερό ύφασμα (β) Πλεκτό βαμβακερό ύφασμα (5% υδρύαλος, 80ppm AgNO<sub>3</sub>, 80°C).**

### 3.7 Στοιχειακή ανάλυση με την τεχνική EDX (Energy Dispersive X-Ray)

Τα φάσματα που προέκυψαν μετά τη στοιχειακή ανάλυση των επικαλυμμένων με άργυρο δειγμάτων εμφάνισαν κορυφές Si, Ag, O, Au που υποδηλώνουν την παρουσία υδρύαλο (συγκολλητικό μέσο), αργύρου (μικροβιοκτόνος ουσία), οξυγόνου που συνδέεται με τον

σχηματισμό Si-O μετά τη θερμική κατεργασία του υφάσματος και χρυσού που συνδέεται με τη μέθοδο επιχρύσωσης



**Εικόνα 5. Φάσματα ενεργειακής διασποράς ακτίνων X (EDX) των αντιμικροβιακών επιχρυσωμένων ινών υφαντού υφάσματος, 5% υδρύαλος, 80rpm AgNO<sub>3</sub>, 120°C.**

#### **4. Μετρήσεις σε φυσικομηχανικές ιδιότητες.**

Οι φυσικομηχανικές ιδιότητες που μετρήθηκαν είναι: α) αντοχή στον εφελκυσμό σύμφωνα με τις απαιτήσεις του πρότυπου ISO 13934-1 με την χρήση CRE δυναμόμετρου. β) Αντοχή στην διάρρηξη πλεκτών υφασμάτων σύμφωνα με τις απαιτήσεις του προτύπου ISO 13938-1 με την χρήση Bursting Tester. γ) Επαναφορά από τσαλάκωμα σύμφωνα με τις απαιτήσεις του πρότυπου ISO 9867 με την χρήση της συσκευής Wrinkle recovery Tester. δ) Χρόνος απορρόφησης σταγόνας με εσωτερική εργαστηριακή μέθοδο. ε) Διαπέραση της ηλιακής ακτινοβολίας (UPF) σύμφωνα με τις απαιτήσεις του πρότυπου EN 13758-1 με την χρήση φασματοφωτόμετρου υπεριώδους –ορατού (UV-Vis). ζ) Ακαμψία υφάσματος σύμφωνα με τις απαιτήσεις του πρότυπου BS 3356 με την χρήση συσκευής δυσκαμψίας Stiffness Tester. η) Αεροδιαπερατότητα σύμφωνα με τις απαιτήσεις του πρότυπου ISO 139237 με την χρήση Air Permeability Tester –Head Tester 20cm<sup>2</sup>. Η προσομοίωση της γήρανσης βασίστηκε σε επαναλαμβανόμενες πλύσεις των επεξεργασμένων δοκιμίων σύμφωνα με τις απαιτήσεις του πρότυπου ISO 6330 με την χρήση εργαστηριακού πλυντηρίου Wascator. Η θερμοκρασία πλύσης ήταν αρκετά υψηλή (60° C) ώστε να ερευνηθεί η αντοχή της αντιμικροβιακής επεξεργασίας σε αυτή την συνθήκη.

Στους πίνακες 3 και 4 αναγράφονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων των ιδιοτήτων αυτών.

Από τον πίνακα 2 εξάγεται το συμπέρασμα ότι η πιο ανθεκτική θερμική επεξεργασία σχετικά με την διάρκεια της αντιμικροβιακής δράσης είναι, για τα μεν υφαντά, εκείνη που έχει γίνει στους 120° και μετά από 10 πλύσεις παρουσιάζει ακόμη αντιμικροβιακή δράση 88%, για τα δε πλεκτά, φαίνεται ότι σε όλες τις θερμικές επεξεργασίες παρουσιάζεται μια αντιμικροβιακή δράση πολύ ικανοποιητική και μετά τις 10 πλύσεις, άρα κάποιος θα διάλεγε εκείνη στους 30° για λόγους οικονομίας. Στον πίνακα 3 φαίνεται ότι οι τιμές των περισσότερων ιδιοτήτων και για όλες τις θερμικές επεξεργασίες παραμένουν στα επίπεδα που ήταν αρχικά (0 πλύσεις) μετά την επεξεργασία και μετά από την γήρανση (10 πλύσεις). Εξαίρεση παρουσιάζει η δυναμομετρική αντοχή, η οποία φαίνεται να αυξάνεται μετά την 1<sup>η</sup> πλύση στην επεξεργασία των 120°C και η οποία παρουσιάζεται σημαντικά μειωμένη από την αντοχή του υφάσματος που φαίνεται στις άλλες επεξεργασίες. Επίσης, ο δείκτης προστασίας από την ηλιακή ακτινοβολία (UPF) μειώνεται με την προσομοίωση χρήσης περίπου κατά 50%. Στα πλεκτά υφάσματα οι διαφορές επικεντρώνονται στον χρόνο απορρόφησης σταγόνας, ο οποίος φαίνεται ότι μειώνεται σημαντικά σε όλες τις θερμικές επεξεργασίες.

ΥΦΑΝΤΑ ΥΦΑΣΜΑΤΑ																
ΘΕΡΜΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ (°C)																
30°				80°				100°				120°				
ΑΡΙΘΜΟΣ ΠΛΥΣΕΩΝ																
ΙΔΙΟΤΗΤΑ	0	1	5	10	0	1	5	10	0	1	5	10	0	1	5	10
Εφέλκυσμός Στημόνι(N)	1154	852	793	879	866	796	937	728	776	873	785	796	207	533	700	671
Υφάδι (N)	530	563	566	647	632	632	586	587	449	659	601	757	249	460	458	501
Επαναφορά από τσαλάκωμα	2	-	-	2/3	2	-	-	2/3	2/3	-	-	2/3	2/3	2/3	2/3	2/3
Απορρόφηση σταγόνας (sec)	3	AA	AA	AA	6	AA	AA	AA	3	AA	AA	AA	4	AA	AA	AA
Διαπέραση ηλιακής ακτινοβολίας (UPF)	14	10	7	8	18	9	7	7	25	9	8	7	16	9	7	8
Αεροδιαπερατότητα (mm/sec)	42,1	-	-	37,6	42,8	-	-	37,8	43	-	-	38,3	46.5	-	-	38.8
Δυσκαμψία (mgxcm)	151	147	155	151	147	153	153	143	139	136	141	153	127	161	167	144

AA= Άμεση Απορρόφηση

**Πίνακας 3. Μετρήσεις σε φυσικομηχανικές ιδιότητες υφαντών υφασμάτων**



ΙΔΙΟΤΗΤΑ	ΠΛΕΚΤΑ ΥΦΑΣΜΑΤΑ															
	ΘΕΡΜΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ (°C)															
	30°				80°				100°				120°			
	ΑΡΙΘΜΟΣ ΠΛΥΣΕΩΝ															
	0	1	5	10	0	1	5	10	0	1	5	10	0	1	5	10
Αντοχή στην διάρρηξη (Kpa)	798	797	737	719	736	738	696	685	770	783	769	683	798	797	737	719
Επαναφορά από τσαλάκωμα	2/3	-	-	3	2/3	-	-	2/3	2/3	-	-	3	2	2	2/3	2/3
Χρόνος απορρόφησης σταγόνας (sec)	71	-	-	AA	378	-	-	AA	202	-	-	AA	3	2	AA	AA
Μέτρηση διαπεράσεως ηλιακής ακτινοβολίας (UPF)	9	7	6	6	13	8	5	6	11	8	5	6	9	7	6	6
Αεροδιαπερατότητα (mm/sec)	325	-	-	254	294	-	-	230	306	-	-	236	306	-	-	238

AA= Άμεση Απορρόφηση

#### Πίνακας 4. Μετρήσεις σε φυσικομηχανικές ιδιότητες πλεκτών υφασμάτων

#### 5. Βιβλιογραφία

Mahltig B., Fiedler D., Bottcher H., “Antimicrobial Sol-Gel Coatings”, Journal of Sol-Gel Science and Technology, 32, 219–222.

Rai M., Yadav A., Gade A., “Silver nanoparticles as a new generation of antimicrobials”, Biotechnology Advances, 27, (2009)76–83

Xing Y., Yang X., Dai Z. J., “Antimicrobial finishing of cotton textile based on water glass by sol-gel method” Journal of Sol-Gel Science and Technology, 43, (2007)187–192.