



Τεχνολογικό
Πανεπιστήμιο
Κύπρου

Σχολή Γεωτεχνικών
Επιστημών και Διαχείρισης
Περιβάλλοντος

Πτυχιακή εργασία

ΣΥΝΘΕΣΗ ΝΑΝΟΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ΑΡΓΥΡΟΥ

Κούλια Πατσαλίδου

Λεμεσός, Μάιος 2026

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΤΜΗΜΑ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Πτυχιακή εργασία
ΣΥΝΘΕΣΗ ΝΑΝΟΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ΑΡΓΥΡΟΥ
της
Κούλιας Πατσαλίδου

Επιβλέπων Καθηγητής
Δρ. Αχιλλέας Κωνσταντίνου

Λεμεσός, Μάιος 2026

Πνευματικά δικαιώματα

Copyright © Κούλια Πατσαλίδου, 2026

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Η έγκριση της πτυχιακής εργασίας από το Τμήμα Χημικών Μηχανικών του Τεχνολογικού Πανεπιστημίου Κύπρου δεν υποδηλώνει απαραίτητως και αποδοχή των απόψεων της συγγραφέας εκ μέρους του Τμήματος.

Ευχαριστίες

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον επιβλέποντα καθηγητή της πτυχιακής μου εργασίας Δρ. Αχιλλέα Κωνσταντίνου, Αναπληρωτή Καθηγητή στο Τμήμα Χημικών Μηχανικών, για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε δίνοντας μου την ευκαιρία να ασχοληθώ με ένα τόσο ενδιαφέρον και απαιτητικό θέμα. Οι γνώσεις που μου παρείχε, η καθοδήγηση του, η υποστήριξη του και κυρίως ο τρόπος με τον οποίο προσεγγίζει τη Χημική Μηχανική αποτέλεσαν για εμένα πηγή έμπνευσης και ενίσχυσαν το ενδιαφέρον μου για το αντικείμενο.

Επιπλέον, θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στην Δρ. Ελεάνα Χάρκου, μεταδιδακτορική ερευνήτρια του καθηγητή μου, για τη καθοδήγηση, τις συμβουλές και την βοήθεια της κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της πτυχιακής μου εργασίας.

Ξεχωριστές ευχαριστίες εκφράζω και στον Dr. Alberto Villa, Αναπληρωτή Καθηγητή στο Τμήμα Χημείας του Πανεπιστημίου του Μιλάνου στην Ιταλία, για τις εξειδικευμένες πληροφορίες και τα πειραματικά δεδομένα που μου παρείχε.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω θερμά όλους τους καθηγητές μου στο Πανεπιστήμιο, οι οποίοι ο καθένας με τον δικό του τρόπο συνέβαλαν στη διαμόρφωση και εξέλιξη της ακαδημαϊκής μου πορείας.

Κλείνοντας, θα ήθελα να εκφράσω την βαθιά μου ευγνωμοσύνη στους φίλους μου και κυρίως στην οικογένεια μου, η οποία στάθηκε δίπλα μου σε κάθε βήμα αυτής της πορείας. Η συνεχής στήριξη, η δύναμη που μου δίνουν καθημερινά σε όλες τις δυσκολίες και η εμπιστοσύνη που μου δείχνουν διαρκώς αποτέλεσαν τη βάση πάνω στην οποία στηρίχθηκαν όλες μου οι προσπάθειες. Η παρουσία τους ήταν καθοριστική για να φτάσω στο σημείο που βρίσκομαι σήμερα.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα νανοσωματίδια τα τελευταία χρόνια έχουν προσελκύσει σημαντικό ερευνητικό ενδιαφέρον και έχουν βρει εκτεταμένες εφαρμογές σε διάφορους τομείς, όπως στις καταλυτικές αντιδράσεις, την ιατρική, τη βιομηχανία τροφίμων και την επιστήμη υλικών. Αυτό είναι αποτέλεσμα των σημαντικών τους πλεονεκτημάτων έναντι των ίδιων υλικών στην μακροσκοπική τους μορφή, καθιστώντας τη σύνθεση νανοσωματιδίων μία διαδικασία καίριας σημασίας. Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η ανάπτυξη υπολογιστικού μοντέλου για την περιγραφή της διεργασίας σύνθεσης νανοσωματιδίων αργύρου και η μελέτη της κατανομής μεγέθους τους, η οποία αποτελεί κρίσιμο παράγοντα για τις ιδιότητες και τις εφαρμογές τους. Η σύνθεση πραγματοποιείται μέσω αναγωγής του νιτρικού αργύρου ($AgNO_3$) παρουσία βοροϋδριδίου του νατρίου ($NaBH_4$). Ο ρυθμός πυρήνωσης περιγράφεται από την κλασική θεωρία πυρήνωσης, ενώ ο ρυθμός ανάπτυξης από σχέση που λαμβάνει υπόψη της την εξάρτηση του από το μέγεθος των νανοσωματιδίων. Για την επίλυση του μοντέλου πραγματοποιείται σύζευξη της εξίσωσης ισοζυγίου πληθυσμού με την υπολογιστική ρευστοδυναμική και χρησιμοποιείται η αριθμητική μέθοδος επίλυσης της διακριτοποίησης. Αναπτύσσονται δύο μοντέλα, ένα για αντιδραστήρα πλήρης ανάμειξης διαλείποντος έργου (Batch Reactor) και ένα για αντιδραστήρα εμβολικής ροής (Plug Flow Reactor, PFR), με στόχο τη διερεύνηση της επίδρασης βασικών λειτουργικών παραμέτρων στην κατανομή μεγέθους των νανοσωματιδίων.

Το μοντέλο που αναπτύχθηκε για τον batch αντιδραστήρα επικυρώθηκε με πειραματικά δεδομένα, παρουσιάζοντας πολύ καλή συμφωνία, με το μέσο μέγεθος να υπολογίζεται σε 13.818 nm, έναντι 13.7 ± 6.2 nm από τα πειραματικά αποτελέσματα. Στη συνέχεια, παρατηρήθηκε ότι και στους δύο αντιδραστήρες η αύξηση της αρχικής συγκέντρωσης του $AgNO_3$ οδήγησε σε αύξηση του μέσου μεγέθους, ενώ η αύξηση της θερμοκρασίας δεν έχει ξεκάθαρη τάση και εξαρτάται από το κάθε σύστημα. Ακολούθως, διαπιστώθηκε ότι η αύξηση του χρόνου αντίδρασης στον batch αντιδραστήρα και η αύξηση του χρόνου παραμονής στον PFR, ευνοεί την περαιτέρω ανάπτυξη τους. Συνολικά, η εργασία συμβάλλει στην καλύτερη κατανόηση της διεργασίας και συντελεί στην ανάπτυξη αξιόπιστων προσεγγίσεων για τον έλεγχο της κατανομής μεγέθους των νανοσωματιδίων.

Λέξεις κλειδιά: Νανοσωματίδια αργύρου, σύνθεση νανοσωματιδίων, εξίσωση ισοζυγίου πληθυσμού, υπολογιστική ρευστοδυναμική, κατανομή μεγέθους σωματιδίων.

ABSTRACT

Nanoparticles have been of particular scientific interest over the last years, and have found widespread applications in various fields, such as in catalytic reactions, medicine, food industry and material science. This result is due to their significant advantages over the same materials in their bulk form, making the synthesis of nanoparticles a process of vital importance. The main objective of this present work is the development of a computational model that describes the synthesis process of silver nanoparticles and the study of their size distribution, a crucial parameter in their properties and their applications. The synthesis is carried out by the reduction of silver nitrate ($AgNO_3$) in the presence of sodium borohydride ($NaBH_4$). The nucleation rate is described by the classical nucleation theory, while the growth rate by a relationship which considers its dependence on nanoparticle size. In order to solve the model, the population balance equation is coupled with computational fluid dynamics, along with the numerical method of discretization. Two models are developed, one in a completely mixed Batch Reactor and another in a Plug Flow Reactor (PFR), with the goal of investigating the effects key operating parameters have on the size distribution of nanoparticles.

The model developed for the Batch Reactor was validated with experimental data, which it was in good agreement, with the mean size calculated at 13.818 nm versus 13.7 ± 6.2 nm from the experimental results. Later on, it was observed that a rise in the initial concentration for silver nitrate ($AgNO_3$) led to an increase in the mean size, while an increase in temperature did not show a clear trend, seemingly depending on the specifications of each system. Subsequently, increasing the reaction time in the batch reactor and the residence time in the PFR enhances further particle growth. Overall, this work provides a better understanding of the process and aids in the development of reliable approaches for controlling the size distribution of nanoparticles.

Keywords: Silver nanoparticles, nanoparticle synthesis, population balance equation, CFD modeling, particle size distribution.