



Cyprus
University of
Technology

Faculty of geotechnical
sciences and
environmental
management

Bachelor Thesis

**A CONSTITUTIVE HEMORHEOLOGICAL MODEL
ADDRESSING THE AGGREGATION OF RED BLOOD
CELLS AT LOW HEMATOCRIT VALUES**

Marianna A. Michail

Limassol, May, 2026

CYPRUS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY
FACULTY OF GEOTHECNICAL SCIENCES AND
ENVIROMENTAL MANAGMENT
DEPARTMENT OF CHEMICAL ENGINEERING

Bachelor Thesis

A constitutive hemorheological model addressing the
aggregation of red blood cells at low hematocrit values

Marianna A. Michail

Supervisor

Dr. Pavlos S. Stephanou

Limassol, May, 2026

Copyright

Copyright © Marianna A. Michail 2026

All rights reserved.

The approval of this thesis by the Department of Chemical Engineering of the Cyprus University of Technology does not necessarily imply acceptance of the author's views on behalf of the Department.

I would like to express my sincere gratitude to my supervisor Dr. Pavlos S. Stephanou, for his guidance and continuous support throughout the course of this work, and for the numerous opportunities he gave me throughout my studies. I would also like to thank his doctorate student Panagiota Polykarpou for her insightful comments and advice.

Lastly I would like to express my deepest gratitude to my friends and family for their unconditional support, patience and understanding throughout my studies.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το αίμα είναι ένα σύνθετο ρευστό, του οποίου η συμπεριφορά καθορίζεται από τα ερυθρά αιμοσφαίρια (RBCs), τα οποία έχουν την ικανότητα να παραμορφώνονται και να συσσωματώνονται σχηματίζοντας δομές γνωστές ως rouleaux. Από ρεολογικής άποψης, τα ερυθρά αιμοσφαίρια αποτελούν σωματίδια αιωρούμενα σε ένα Νευτώνειο ρευστό, το πλάσμα, ωστόσο το αίμα συνολικά θεωρείται μη Νευτώνειο ρευστό, καθώς παρουσιάζει ρεολεπτυνόμενη συμπεριφορά.

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται ένα συστατικό αιμορρολογικό μοντέλο που λαμβάνει υπόψη τρεις δομικές μεταβλητές σε χαμηλούς αιματοκρίτες. Συγκεκριμένα, εξετάζονται: ένας τανυστής σταθερής ορίζουσας που περιγράφει την παραμόρφωση των ερυθρών αιμοσφαιρίων, ένας τανυστής διατηρούμενου ίχνους που περιγράφει τον προσανατολισμό των rouleaux, τα οποία στην παρούσα εργασία θεωρούνται άκαμπτα, και τέλος το μέσο μέγεθος των rouleaux, το οποίο θεωρείται ότι ακολουθεί μια διακριτή κατανομή Poisson. Αναλύθηκαν τόσο μεταβατικές όσο και μόνιμες συνθήκες. Πραγματοποιήθηκαν αριθμητικές προσομοιώσεις στη MATLAB για τη μελέτη των συνθηκών αυτών και για την εξέταση της επίδρασης βασικών παραμέτρων και εγγενών ιδιοτήτων του συστήματος, όπως ο αριθμός Capillary (Ca), το μέσο μέγεθος rouleaux σε ισορροπία (N_{eq}), καθώς και οι αδιάστατες παράμετροι ε , ξ και β .

Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι οι εγγενείς παράμετροι διαδραματίζουν τον σημαντικότερο ρόλο στην αντίσταση του συστήματος έναντι της διάσπασης λόγω ροής, κυριότερα η παράμετρος ε , ενώ η παράμετρος β δείχνει να επηρεάζει τον ρυθμό με τον οποίο επιτυγχάνεται μια δεδομένη μόνιμη κατάσταση, όχι την ίδια τη μόνιμη κατάσταση. Η παράμετρος ξ διατηρήθηκε σε πολύ μικρές τιμές, ώστε να αποφευχθεί μη αναμενόμενη πολυπλοκότητα στα αποτελέσματα. Επιπλέον, το μοντέλο προβλέπει ότι συστήματα με υψηλότερο N_{eq} είναι περισσότερο επιρρεπή σε αποσυσσωμάτωση.

Λέξεις κλειδιά: Αιμορρολογική μοντελοποίηση, συσσωμάτωση ερυθρών αιμοσφαιρίων, χαμηλός αιματοκρίτης, κατανομή Poisson μεγέθους των rouleaux, Μεταβατικές και μόνιμες καταστάσεις

ABSTRACT

Blood is a complex fluid whose behavior is governed by RBCs (red blood cells), who bear the ability to deform and aggregate into coin-like structures known as rouleaux. From a rheological point of view RBCs are cells suspended in a Newtonian fluid the plasma, but overall, blood is considered a non-Newtonian fluid because it displays a shear thinning-behavior.

In this work, a constitutive hemorheological model considering three structural parameters is introduced at low hematocrit values. The three structural variables considered are: a determinant conserved tensor accounting for the deformability of RBCs, a trace conserved tensor accounting for the orientation of rouleaux, which in this present work are taken to be rigid, and lastly the average rouleaux size hypnotized to follow a discrete Poissonian distribution. Both transient and steady-state conditions were analyzed. Numerical simulations were performed in MATLAB to simulate both these conditions and to examine the influence on the distribution of key parameters and intrinsic properties of the system, including variations in the shear rate ($\dot{\gamma}$), the average rouleaux size at equilibrium (N_{eq}), and intrinsic dimensionless parameters like ϵ , ξ and β .

The findings predict that intrinsic parameters play the most significant role in the system's resistance to flow- induced breakage specifically parameter ϵ , while β seems to mostly influence the speed with which a certain steady-state is reached, but not the steady-state itself. Parameter ξ was kept at near zero values to avoid unexpected complexity in results, and the model predicted that systems with higher N_{eq} , are more susceptible to disaggregation.

Keywords: Hemorheological modelling, RBC aggregation, low hematocrits, rouleaux size Poissonian distribution, Transient and Steady-state conditions