

Numerična preiskava vpliva volumskega deleža nanodelcev na pretok, prenos toplote in ustvarjanje entropije v ferrofluidu Fe_3O_4 v neenakomernem magnetnem polju

Fazel Hosseinzadeh¹ – Faramarz Sarhaddi^{1,*} – Davod Mohebbi-Kalhari²

¹ Univerza v Sistanu in Balučistanu, Oddelek za strojništvo, Iran

² Univerza v Sistanu in Balučistanu, Oddelek za kemijsko tehnologijo, Iran

Ferofluidi so koloidne suspenzije, sestavljene iz nemagnetne nosilne tekočine, kot je voda, organsko olje ali kerozin, ter endomskih feromagnetnih nanodelcev. Ferofluidi imajo potencial za uporabo v nalogah prenosa toplote. Za optimalno zasnovano in nadzor nad termomagnetnimi aplikacijami prenosa toplote je treba poiskati povezave med apliciranim magnetnim poljem, pretokom ferrofluida in porazdelitvijo temperature. Članek predstavlja raziskavo konvektivnega prenosa toplote s prisilnim tokom ferrofluida (voda in Fe_3O_4) v vodoravnem dvodimenzionalnem kanalu pod vplivom neenakomernega dvorazsežnostnega magnetnega polja, ustvarjenega z linijskim dipolom.

Glavni cilj je preučitev vpliva volumskega deleža magnetnih nanodelcev Fe_3O_4 premera 10 nm na hidrotermalne lastnosti in ustvarjanje entropije v ferrofluidu. Ogrevani ferrofluid vstopa v kanal pri temperaturi 344 K. Spodnja stena je izotermni toplotni ponor s temperaturo 300 K, zgornja stena pa je adiabatna. Laminarni tok ferrofluida je stacionaren, nestisljiv in viskozen. Vpliv magnetnega polja na viskoznost in toplotno prevodnost ferrofluida ni upoštevan, prav tako pa je zanemarjena majhna Lorentzova sila zaradi električne prevodnosti v primerjavi z magnetizacijo. Zaradi nelinearnosti sklopljenih vodilnih diferencialnih enačb je bila uporabljena numerična metoda reševanja. Pri diskretizaciji kontinuitetnih, momentnih in energijskih enačb je bila uporabljena tehnika kontrolnih volumnov.

Za konvektivne in difuzijske člene je bila uporabljena gorvodna metoda drugega reda, za sklapljanje tlaka in hitrosti pa je bil razvit preprost algoritem. Za neodvisnost rezultatov od mreže je bilo raziskanih več različnih porazdelitev mreže. Veljavnost in točnost numeričnih rezultatov dokazuje primerjava z objavljenimi rezultati numeričnih raziskav vodnih ferrofluidov pod vplivom linijskega dipola. Vsiljeni tok v odsotnosti zunanega magnetnega polja in pri ničelnem volumskem deležu magnetnih nanodelcev doseže hidrodinamično popolnoma razvit profil pri dolžini $x/h = 2,284$ ter konstantno hitrost, ki ustreza 1,5-kratniku vstopne. Ob aktiviranju zunanega magnetnega polja Kelvinova sila na telo premaga viskozno silo in tok fluida se močno spremeni. Ko se spremeni pretočno polje, se spremeni tudi temperaturno polje tako, da v termični mejni plasti blizu dipola nastane grba. Sprememba temperaturne porazdelitve zaradi magnetnega polja povzroči tudi spremembo temperaturnega gradienta v ferrofluidu. Rezultati kažejo rast povprečnega Nusseltovega števila z dodajanjem delcev Fe_3O_4 , tako da se vrednost v primerjavi z osnovnim fluidom pri 6 vol. % Fe_3O_4 poveča za 51,1 % pod vplivom magnetnega polja oz. za 8,5 % v odsotnosti magnetnega polja. Ugotovljeno je bilo, da imajo ferofluidi pri majhnih Reynoldsovih številih dobro sposobnost prenosa toplote, ker se ustvarja razmeroma malo entropije. Pri fiksni vrednosti črpalnega dela in majhnih vrednostih Reynoldsovega števila rahlo povečanje vrednosti Re za osnovno tekočino (približno do $Re = 60$) ugodno vpliva na prenos toplote. NUR za pospešeno osnovno tekočino je tako večji kot pri nepospešenem nanofluidu (volumski delež do 0,04), z vidika termodinamike pa se ustvarja več entropije (večji NSR v primerjavi z nepospešenim nanofluidom).

Nepospešeni nanofluid z volumskim deležem nad 0,04 ima pri večjih vrednostih Reynoldsovega števila za osnovno tekočino ($Re > 60$) boljše lastnosti prenosa toplote (večja vrednost NUR) v primerjavi s pospešeno osnovno tekočino, ustvarja pa se tudi manj entropije. Vrednost NSR z rastjo volumskega deleža Fe_3O_4 do 4 % v sistemu presega vrednost NUR, pri volumskih deležih med 0,04 in 0,06 pa se trend obrne. NUR pri 6 vol. % je tako v primerjavi s 4-odstotnim volumskim deležem magnetnih nanodelcev večji za 10,4 %, NSR pa le za 6,2 %. Iz tega zanimivega rezultata sledi, da je s stališča drugega zakona termodinamike primerno tudi povečanje volumskega deleža nanodelcev iz 0,04 na 0,06 ob povečanju konvektivnega prenosa toplote.

Ključne besede: ferrofluid, volumski delež nanodelcev, magnetno polje, ustvarjanje entropije, končni volumni

*Naslov avtorja za dopisovanje: 1 Univerza v Sistanu in Balučistanu, Oddelek za strojništvo, Zahedan, Iran, fsarhaddi@eng.usb.ac.ir