



## تحلیل عددی نیروهای هیدرودینامیکی وارد بر خطوط لوله فراساحلی تحت اثر امواج

عباس یگانه بختیاری<sup>۱</sup>، مجید زینلی<sup>۲</sup>

تهران، نارمک، دانشگاه علم و صنعت ایران، دانشکده مهندسی عمران

E-mail: yeganeh@iust.ac.ir

## خلاصه

در راستای کارکرد ایمن خطوط لوله نفت و گاز فراساحلی، حین و پس از نصب، باید نیروهای هیدرودینامیکی اعمال شده ناشی از میدان جریان و موج بر خط لوله در محدوده مجاز قرار داشته باشند. هدف از این مقاله ارائه یک مدل عددی به منظور تعیین نیروهای هیدرودینامیکی وارد بر خطوط لوله فراساحلی تحت اثر امواج می باشد که با یک جریان رفت و برگشتی تقریب زده می شود. روش مورد استفاده شامل حل عددی معادلات ناویر- استوکس یا معادلات مومنتم و معادله پیوستگی در حالت دو بعدی، برای یک میدان جریان در اطراف لوله و متعاقب آن به دست آوردن الگوهای مختلف تغییرات سرعت و فشار طی زمان در اطراف لوله می باشد. حل معادلات توسط یک الگوریتم نیمه ضمنی و طی یک فرآیند حدس و تصحیح برای محاسبه فشار در شبکه سلولهای حوزه مساله می باشد. جهت تدقیق فرآیند شبیه سازی هیدرودینامیک اطراف لوله اثر لزجت آشفتگی ( $\nu_t$ ) و انرژی جنبشی آشفتگی ( $k$ ) از یک مدل آشفتگی  $k-\epsilon$  استاندارد استفاده شده است. نتایج شبیه سازی که برای حالات مختلف نسبت فاصله لوله تا بستر دریا به اندازه قطر لوله ( $e/D$ ) به دست آمده اند، بیانگر آن است که گردابه های ایجاد شده در اطراف خط لوله تاثیر به سزایی در اندازه و الگوی توزیع فشار و جریان و متعاقب آن نیروهای هیدرودینامیکی موثر دارند.

کلمات کلیدی: نیروهای هیدرودینامیکی، مدل آشفتگی  $k-\epsilon$ ، معادلات ناویر - استوکس

## مقدمه

ارزیابی نیروهای هیدرودینامیکی حین فاز طراحی، نصب و بهره برداری از خطوط لوله فراساحلی بسیار مهم می باشد. عمدتاً، منشاء لرزش خطوط لوله نصب شده بر کف دریا، تشکیل گردابه ها<sup>۱</sup> در ناحیه دنباله<sup>۲</sup> می باشد. تشکیل گردابه ها در ناحیه دنباله خطوط لوله سبب ایجاد نیروهای دراگ و لیفت می شود. لرزش تدریجی می تواند سبب گسیختگی ناشی از خستگی و صدمات سازه ای خطوط لوله شود. در این راستا، طراحی اقتصادی و ایمن خطوط لوله فراساحلی مستلزم بررسی چگونگی و مکانیزم شکل گیری گردابه ها و نیروهای لیفت و دراگ وارد بر آن ها می باشد. در حالتی که خط لوله فراساحلی در معرض یک جریان رفت و برگشتی<sup>۳</sup> قرار داشته باشد، معمولاً برای توصیف ویژگی های هیدرودینامیکی جریان از پارامتری به نام Keulegan-Carpenter ( $KC$ ) استفاده می شود که به صورت زیر تعریف می شود:

$$KC = \frac{U_m T_w}{D} \quad (1)$$

که در آن  $U_m$  سرعت حداکثر و  $T_w$  پریود جریان رفت و برگشتی و  $D$  قطر لوله می باشد. جریان ناشی از امواج در اطراف خطوط لوله فراساحلی معمولاً از نوع سینوسی فرض می شود و سرعت لحظه ای به صورت زیر تعریف می شود:

$$U = U_m \sin(\omega t) \quad (2)$$

که در آن  $\omega$  بسامد زاویه ای می باشد.

با توجه به فرمول های بالا گفته، مقادیر  $KC$  کوچک بیانگر کوچک بودن حرکت چرخشی ذرات نسبت به قطر لوله می باشند. حال آن که مقادیر  $KC$  بزرگ نشان دهنده آن هستند که ذرات آب مسافت های نسبتاً طولانی را در مقایسه با قطر لوله طی می کنند که منجر به تشکیل گردابه ها می شود. برای

<sup>۱</sup> استادیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تلفن/فاکس: ۰۲۱-۷۳۹۱۳۱۳۰

<sup>۲</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تلفن: ۰۹۱۲-۵۳۶۰۵۳۴

<sup>۳</sup> Vortex-shedding

<sup>۴</sup> Wake region

<sup>۵</sup> Oscillatory flow