



## شناسایی مرزهای منظم به همراه تخمین همزمان مدول الاستیسیته و ضریب پواسون مواد همگن تشکیل دهنده یک جسم ناهمگن به کمک الگوریتم رقابت استعماری و روش سیمپلکس

محمد حسین مظفری<sup>۱</sup>، محمود خداداد<sup>۲\*</sup>

۱- دانشجوی دکترا، مهندسی مکانیک، دانشگاه یزد، یزد

۲- استادیار، مهندسی مکانیک، دانشگاه یزد، یزد

\* یزد، صندوق پستی ۸۹۱۹۵-۷۴۱، khodadad@yazd.ac.ir

### چکیده

### اطلاعات مقاله

یکی از موضوعات مهم در صنعت بخصوص صنایع ریخته‌گری تعیین ساختار داخلی اجسام مانند شناسایی مرزهای داخلی بین ماده‌ها، شناسایی ناخالصی‌ها یا تعیین خواص مکانیکی ماده‌ها می‌باشد. در این مقاله ابتدا با استفاده از روش بهینه سازی همگانی رقابت استعماری (ICA)، خواص مکانیکی (مدول الاستیسیته و ضریب پواسون) سه ماده همگن تشکیل دهنده یک جسم ناهمگن، با هندسه دلخواه مرزهای داخلی و با استفاده از نتایج آزمون تست کشش، به صورت همزمان و با دقت زیاد تخمین زده می‌شود. این کار براساس مینیمم کردن یک تابع هدف که به صورت مجموع مربعات تفاضل بین جابجایی اندازه‌گیری شده و جابجایی محاسبه شده با استفاده از روش المان مرزی (BEM) می‌باشد، انجام می‌شود. در ادامه سعی شده است تا با تلفیقی از روش بهینه سازی همگانی (رقابت استعماری) و بهینه سازی محلی (روش سیمپلکس)، مساله معکوس شناسایی مرزهای منظم داخلی یک جسم ناهمگن، متشکل از سه جسم همگن و ایزوتروپ به همراه تخمین همزمان مدول الاستیسیته و ضریب پواسون مواد تشکیل دهنده آن جسم، انجام شود. از نتایج به دست آمده (مدت زمان اجرای برنامه و میزان خطا) می‌توان به کارایی روش بهینه سازی رقابت استعماری و روش سیمپلکس در بهینه کردن تابع هدف مورد نظر و در نهایت تخمین خواص مکانیکی سه ماده به همراه شناسایی مرزها پی برد.

مقاله پژوهشی کامل  
دریافت: ۱۰ اردیبهشت ۱۳۹۳  
پذیرش: ۱۱ خرداد ۱۳۹۳  
ارائه در سایت: ۰۵ مهر ۱۳۹۳  
کلید واژگان:  
الگوریتم رقابت استعماری  
جسم ناهمگن  
روش المان‌های مرزی  
روش بهینه سازی سیمپلکس  
شناسایی مرزها

## Identifying two regular interfacial boundary configurations and simultaneously estimation of mechanical properties using Imperialist competitive Algorithm and Simplex method

Mohammad Hossein mozaffari<sup>1</sup>, Mahmud Khodadad<sup>2\*</sup>

1- Department of Mechanical Engineering, Yazd University, Yazd, Iran

2- Department of Mechanical Engineering, Yazd University, Yazd, Iran

\*P.O.B. 89195-741 Yazd, Iran, khodadad@yazd.ac.ir

### ARTICLE INFORMATION

Original Research Paper  
Received 30 April 2014  
Accepted 01 June 2014  
Available Online 27 September 2014

### Keywords:

Imperialist Competitive Algorithm (ICA)  
Non-homogeneous body  
Boundary Elements Method (BEM)  
Simplex Method  
Identification

### ABSTRACT

One of the most important issues in industry, particular casting industry is to determine the internal structure of objects such as identifying the interfacial boundary configurations between material, identification of impurities or mechanical properties of the material. The objective of the present inverse problem is to identified simultaneously two regular interfacial boundary configurations and mechanical properties of the components of a multiple (three) connected domains using a discrete number of displacement measurements obtained from an uniaxial tension test. A unique combination of a global optimization method i.e. the Imperialist Competitive Algorithm (ICA) and local optimization methods i.e. Simplex Method (SM) along with the inverse application of the Boundary Elements Method (BEM) are employed in an inverse software package. A fitness function, which is the summation of squared differences between the measured displacements and computed at identical locations on the exterior boundary, is minimized. The obtained results (run-time and error-rate), clearly demonstrate the efficiency of this present algorithm (the Imperialist Competitive Algorithm and Simplex Method) to optimize the objective function and the estimation simultaneously two regular interfacial boundary configurations and mechanical properties.

داخلی اجسام مانند شناسایی مرزهای داخلی بین ماده‌ها، شناسایی ناخالصی‌ها یا حفره‌های داخل ماده یا تعیین خواص مکانیکی ماده‌ها می‌باشد. یکی از راه‌های انجام این کار استفاده از آزمایش‌های غیر مخرب نظیر اشعه ایکس و

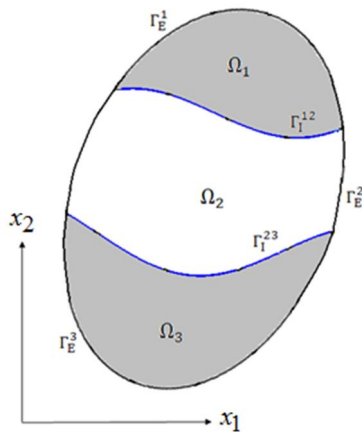
### ۱- مقدمه

یکی از موضوعات مهم در صنعت بخصوص صنایع ریخته‌گری تعیین ساختار

Please cite this article using:

M. H. mozaffari, M. Khodada, Identifying two regular interfacial boundary configurations and simultaneously estimation of mechanical properties using Imperialist competitive Algorithm and Simplex method, *Modares Mechanical Engineering*, Vol. 14, No. 10, pp. 71-79, 2014 (In Persian)

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:



شکل 1 جسم ناهمگن مرکب از سه ماده همگن با دو مرز نامنظم

مواد و همچنین هندسه ناخالصی با روش معکوس مورد بررسی قرار گرفته است. در این تحقیق به طور همزمان مشخصات فیزیکی  $(E, \nu)$  و سپس هندسه ناخالصی بیضی و گلابی شکل، محاسبه می شود. مساله معکوس با استفاده از روشهای الگوریتم ژنتیک و گرادیان مزدوج و تطبیق تدریجی آنها بر یکدیگر صورت گرفته است. در [7] [2009] ضریب انتقال حرارت و موقعیت ناخالصی درون یک جسم الاستیک دو بعدی با استفاده از معادلات انتقال حرارت گذرا و با استفاده از روش بهینه سازی ازدحام ذرات به طور همزمان تخمین زده شده است. همچنین تابع هدف به صورت مجموع مربعات تفاضل دماهای اندازه گیری شده و دماهای محاسبه شده از حل مستقیم مساله با روش المان مرزی در نظر گرفته شده است. در این تحقیق تاثیر موقعیت ناخالصی، اندازه و جنس ناخالصی روی دقت جواب به دست آمده بررسی شده است.

در [8] [2009] که در ادامه کار [1] می باشد به تخمین همزمان هندسه، موقعیت و مشخصات فیزیکی ناخالصی دایره ای شکل با استفاده از روش تخمین پارامترها پرداخته شده است. در این تحقیق تاثیر جنس ناخالصی، موقعیت آن و تاثیر تعداد نقاط اندازه گیری سطحی روی دقت جواب به دست آمده بررسی شده است.

در [9] [2012] موقعیت و اندازه حفره داخل یک جسم الاستیک دو بعدی تخمین زده می شود. در این تحقیق ابتدا با استفاده از روش الگوریتم ژنتیک شکل حفره به صورت دایره ای شکل تخمین زده شده و سپس با روش گرادیان مزدوج هندسه و موقعیت حفره شناسایی می شود. در این تحقیق تابع هدف به صورت مجموع مربعات تفاضل بین جابجایی اندازه گیری شده و جابجایی محاسبه شده با استفاده از روش المان مرزی می باشد.

در این مقاله ابتدا با استفاده از نتایج به دست آمده از آزمون تست کشش به همراه روش بهینه سازی رقابت استعماری، (ICA)، مدول الاستیسیته و ضریب پواسون سه ماده همگن تشکیل دهنده یک جسم ناهمگن، با هندسه دلخواه مرزهای داخلی به صورت همزمان و با دقت زیاد تخمین زده می شود. این کار براساس مینیمم کردن یک تابع هدف که به صورت مجموع مربعات تفاضل بین جابجایی اندازه گیری شده و جابجایی محاسبه شده با استفاده از روش المان مرزی (BEM) می باشد، انجام می شود. در ادامه سعی شده است تا با تلفیقی از روش های بهینه سازی همگانی (روش رقابت استعماری) و روشهای بهینه سازی محلی (روش سیمپلکس)، مساله معکوس شناسایی مرزهای منظم داخلی یک جسم ناهمگن، متشکل از سه جسم همگن و

سایر آزمایش ها، می باشد که بسیار پرهزینه هستند. بنابراین اگر با انجام یک آزمایش کشش ساده بر روی قطعات، بتوان محل تماس یا مرز مشترک یا خواص مواد را به دست آورد هم از تخریب ماده برای به دست آوردن موارد مجهول جلوگیری شده و هم هزینه کمتری در بر خواهد داشت.

در صنعت هنگامی که دو یا چند ماده مذاب با هم در یک قالب روی هم ریخته می شوند با توجه به نوع ماده ها امکان ترکیب و نفوذ ماده ها در هم وجود دارد که این امر باعث به وجود آمدن یک ماده جدید ایزوتروپیک یا غیر ایزوتروپیک می شود. برای مثال مطابق شکل 1 هنگامی که ماده (1) در حالت مذاب به ماده (3) اضافه می شود با توجه به نوع ماده ها، ماده بوجود آمده (ماده (2)) می تواند ایزوتروپیک یا غیر ایزوتروپیک بوده و کل جسم در مجموع ناهمگن خواهد بود.

در مساله مستقیم معادله حاکم، هندسه، خواص مواد و شرایط مرزی داده شده اند که بر اساس آن جابجایی ها را در نقاطی از سطح جسم که بردارهای تراکشن به عنوان شرط مرزی معلومند و تراکشن ها را در نقاطی از سطح که جابجایی ها به عنوان شرط مرزی معلومند، به همراه جابه جایی ها و تراکشن ها بر روی مرزهای مشترک بین ماده ها با استفاده از روش المان های مرزی محاسبه می شوند. در مساله معکوس، خواص مکانیکی سه ماده تشکیل دهنده جسم ناهمگن به همراه هندسه مرزهای داخلی، مجهول می باشد، اما جابجایی ها بر روی سطح خارجی جسم قابل اندازه گیری هستند.

از کارهای انجام شده در زمینه مسائل شناسایی می توان به موارد زیر اشاره کرد. در [1] [1990] محل، اندازه و خواص مکانیکی و حرارتی یک ناخالصی به شکل دایره در داخل یک جسم جامد با استفاده از روش المانهای مرزی و روش بهینه یابی محلی تخمین پارامترها<sup>1</sup> شناسایی گردیده است. در این تحقیق مساله انتقال حرارت و الاستیسیته معکوس و اندازه گیری های سطحی دما و جابجایی جهت دست یابی به پارامترهای مجهول مورد مطالعه قرار گرفته است. در [2] [1997] شناسایی هندسه مرز نامنظم مشترک بین دو جسم جامد ایزوتروپیک در حالت دو بعدی با استفاده از انتقال حرارت انجام شده است. این کار با استفاده از تلفیق روش های المان مرزی، روش مارگارید لونبرگ<sup>2</sup> و روش گرادیان مزدوج انجام گرفته است. در [3] [2000] شناسایی شکل هندسی و خواص مکانیکی یک ناخالصی در داخل یک ماده انجام شده است. الگوریتم حل بر پایه مینیمم کردن تابع مجموع مربعات خطا بین جابجایی های اندازه گیری شده و جابجایی های بدست آمده از روش المان مرزی می باشد. در [4] [2005] شناسایی هندسه دو مرز نامنظم مشترک بین سه جسم جامد ایزوتروپیک در حالت دو بعدی با استفاده از انتقال حرارت انجام شده است. این کار با استفاده از تلفیق روش های المان مرزی و روش گرادیان مزدوج انجام گرفته است. در این تحقیق تابع هدف به صورت مجموع مربعات تفاضل دماهای اندازه گیری شده و دماهای محاسبه شده با استفاده از حل مستقیم مساله در نظر گرفته شده است.

در [5] [2008] امکان شناسایی هندسه مرز نامنظم مشترک بین دو جسم جامد ایزوتروپیک در حالت دو بعدی منحصرا براساس اندازه گیری سطحی با استفاده از تلفیق روش های المان مرزی، روش بهینه سازی ازدحام ذرات<sup>3</sup> و روش گرادیان مزدوج مورد بررسی قرار گرفته است. در [6] [2008] تخمین ضریب الاستیسیته و نسبت پواسون مربوط به ناخالصی های داخلی

1- Parameter Estimation  
2- Levenberg- Marquardt Method (L-MM)  
3- Particle Swarm Optimization Algorithm (PSO)

با انتخاب توابع وزن به اندازه کافی مشتق‌پذیر  $w_1(x_1, x_2)$  و  $w_2(x_1, x_2)$  و با ضرب عبارت اول از (5) در  $w_1(x_1, x_2)$  و ضرب عبارت دوم در  $w_2(x_1, x_2)$ ، با دو بار انتگرال گیری جزء به جزء و جمع دو مقدار، و تبدیل این معادلات به معادلات انتگرال مرزی با جایگذاری توابع وزن  $w_1(x), w_2(x)$  با عبارات  $U_1(x, x^i), U_2(x, x^i)$ ، برای  $x^i$  های در داخل دامنه  $\Omega$  رابطه 7 حاصل می‌شود:

$$u_1(x^i)e_1(x^i)+u_2(x^i)e_2(x^i)= -\int_{\Gamma} T_1(x, x^i)u_1(x)ds - \int_{\Gamma} T_2(x, x^i)u_2(x)ds + \int_{\Gamma} U_1(x, x^i)t_1(x)ds + \int_{\Gamma} U_2(x, x^i)t_2(x)ds \quad (7)$$

برای سادگی معادلات  $x^i = (x_1^i, x_2^i)$  به عنوان نقطه چشمه  $i$  و  $x = (x_1, x_2)$  را به عنوان نقطه میدان در نظر گرفته می‌شود. مولفه های این رابطه را می‌توان به صورت رابطه 8 نوشت:

$$\begin{aligned} U_1(x, x^i) &= U_{11}(x, x^i)e_1(x^i) + U_{12}(x, x^i)e_2(x^i) \\ U_2(x, x^i) &= U_{21}(x, x^i)e_1(x^i) + U_{22}(x, x^i)e_2(x^i) \\ T_1(x, x^i) &= T_{11}(x, x^i)e_1(x^i) + T_{12}(x, x^i)e_2(x^i) \\ T_2(x, x^i) &= T_{21}(x, x^i)e_1(x^i) + T_{22}(x, x^i)e_2(x^i) \end{aligned} \quad (8)$$

معادله میدان هم به صورت رابطه 9 می‌باشد.

$$u_j(x^i) = -\int_{\Gamma} T_{kj}(x, x^i)u_k(x)ds(x) + \int_{\Gamma} U_{kj}(x, x^i)t_k(x)ds(x) \quad (9)$$

که  $k=1,2$  و  $j=1,2$  تغییر می‌کند معادله میدان (9) برای هر نقطه  $x_i \in \Omega$  قابل قبول است. بنابراین بایستی این معادله برای حالتی که  $x^i$  ها نقطه‌ای مرزی هستند نیز، برقرار باشد. اما در این حالت هنگامی که  $x$  به  $x^i$  نزدیک می‌شود، انتگرال‌ها نامعین می‌شوند. برای حل این مشکل انتگرال گیری حول نقطه  $x^i$  انجام می‌شود و در نهایت رابطه 10 به دست می‌آید:

$$\alpha_{kj}^i u_k^i + \int_{\Gamma} T_{kj} u_k ds = \int_{\Gamma} U_{kj} t_k ds, \quad \Gamma \text{ روی } x^i \quad (10)$$

معادلات 10 معادلات انتگرال مرزی (BIE) نامیده می‌شوند. به وسیله این معادلات می‌توان کلیه مقادیر مجهول را بر روی مرزها تعیین کرد. در ادامه مرز  $\Gamma$  به  $N$  قسمت کوچکتر تقسیم شده و با به کارگیری المان‌های خطی در این صورت معادلات انتگرال مرزی به فرم رابطه 11 در می‌آیند:

$$\alpha_{kj}^i u_k^i + \sum_{r=1}^N \sum_{p=1}^2 u_k^{(r-2+p)} \int_{-1}^1 h_p^{ir} d\xi = \sum_{r=1}^N \sum_{p=1}^2 t_k^{(2r-2+p)} \int_{-1}^1 g_p^{ir} d\xi \quad (11)$$

که  $u_k^{(0)}$  با  $u_k^{(N)}$  برابر است و  $g_p^{ir}$  و  $h_p^{ir}$  توابعی معلوم هستند. معادله 11 به فرم ماتریسی به صورت رابطه 12 نوشته می‌شود:

$$[H]\{u\} = [G]\{t\} \quad (12)$$

$[H]$  یک ماتریس  $2N \times 2N$  و  $[G]$  یک ماتریس  $2N \times 4N$  است.

ماتریس ستونی  $\{u\}$  شامل مقادیر جا به جایی‌ها در امتداد  $X_1, X_2$  در  $N$  گره مرزی و ماتریس ستون  $\{t\}$  شامل چهار مقدار تراکشن در هر گره مرزی، مقادیر تراکشن در امتدادهای  $X_1, X_2$  قبل از گره و مقادیر تراکشن در امتدادهای  $X_1, X_2$  بعد از گره است.

با توجه به مطالب گفته شده در قسمت قبل حال اگر دامنه مساله غیر یکنواخت باشد به طوری که مطابق شکل 3 جسم از سه ماده مختلف ایزوتروپیک تشکیل شده باشد، در این صورت دامنه  $\Omega$  به سه زیر دامنه

ایزوتروپ به همراه تخمین همزمان مدول الاستیسیته و ضریب پواسون مواد تشکیل دهنده آن جسم، انجام شود. همان طور که گفته شد برای حل مستقیم مساله از روش المان های مرزی استفاده می‌شود که در ادامه توضیح مختصری داده خواهد شد.

## 2- نظریه اساسی روش المان مرزی در الاستیسه

بر طبق شکل 2 معادلات تعادل برای یک جسم الاستیک دوبعدی با ضخامت یکنواخت  $h$  که تحت بارگذاری قرار دارد به صورت رابطه 1 است:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \sigma_{11}}{\partial x_1} + \frac{\partial \sigma_{12}}{\partial x_2} &= 0 \\ \frac{\partial \sigma_{12}}{\partial x_1} + \frac{\partial \sigma_{22}}{\partial x_2} &= 0 \end{aligned} \quad (1)$$

$\sigma_{11}, \sigma_{22}, \sigma_{12}$  مولفه‌های تنش صفحه‌ای هستند. در این معادلات فرض شده است که نیروهای حجمی وجود ندارد. شرایط مرزی برای معادلات بالا به صورت رابطه 2 و 3 می‌باشد:

$$u_i = f_i(s) \quad \Gamma_a \text{ روی} \quad (2)$$

$$u_i t_j = \sigma_{ij} n_j h = g_j(s) \quad \Gamma_b \text{ روی} \quad (3)$$

$u_i$  مولفه‌های جا بجایی در امتداد  $i, j$  مولفه‌های تراکشن در امتداد  $i$ ،  $n_1$  و  $n_2$  مولفه‌های بردار یکه عمود بر مرز  $\Gamma$ ،  $s$  مختصاتای در جهت مرز  $\Gamma$  و  $f_i(s)$  و  $g_j(s)$  توابعی معلوم هستند. با استفاده از قانون هوک می‌توان (1) را بر حسب مولفه‌های جابجایی و به صورت رابطه 4 نوشت:

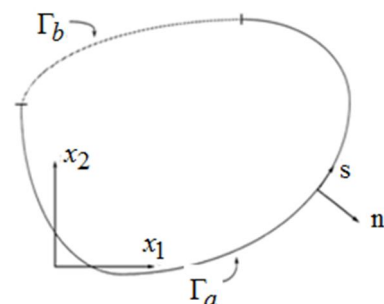
$$\begin{aligned} \sigma_{11} &= C_{11} \frac{\partial u_1}{\partial x_1} + C_{12} \frac{\partial u_2}{\partial x_2} \\ \sigma_{22} &= C_{12} \frac{\partial u_1}{\partial x_1} + C_{22} \frac{\partial u_2}{\partial x_2} \\ \sigma_{12} &= C_{33} \frac{\partial u_1}{\partial x_2} + C_{12} \frac{\partial u_2}{\partial x_1} \end{aligned} \quad (4)$$

در (1) و جایگزینی  $C_{ij}$  با  $C_{33}, C_{12}, C_{22}, C_{11}$  ضرایب مربوط به جنس ماده هستند. با قرار دادن (4) در (1) می‌توان معادلات تعادل را بر حسب مولفه‌های جا به جایی به صورت رابطه 5 به دست آورد:

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial x_1} (c_{11} \frac{\partial u_1}{\partial x_1} + c_{12} \frac{\partial u_2}{\partial x_2}) + \frac{\partial}{\partial x_2} (c_{33} \frac{\partial u_2}{\partial x_1} + c_{33} \frac{\partial u_1}{\partial x_2}) &= 0 \\ \frac{\partial}{\partial x_1} (c_{33} \frac{\partial u_2}{\partial x_1} + c_{33} \frac{\partial u_1}{\partial x_2}) + \frac{\partial}{\partial x_2} (c_{12} \frac{\partial u_1}{\partial x_1} + c_{22} \frac{\partial u_2}{\partial x_2}) &= 0 \end{aligned} \quad (5)$$

همچنین با جایگذاری (4) در (3) بردارهای تراکشن بر حسب مولفه‌های جا به جایی به صورت رابطه 6 به دست می‌آیند:

$$\begin{aligned} t_1 &= (c_{11} \frac{\partial u_1}{\partial x_1} + c_{12} \frac{\partial u_2}{\partial x_1}) n_1 + (c_{33} \frac{\partial u_2}{\partial x_1} + c_{33} \frac{\partial u_1}{\partial x_2}) n_2 \\ t_2 &= (c_{33} \frac{\partial u_2}{\partial x_1} + c_{33} \frac{\partial u_1}{\partial x_2}) n_1 + (c_{12} \frac{\partial u_1}{\partial x_1} + c_{22} \frac{\partial u_2}{\partial x_2}) n_2 \end{aligned} \quad (6)$$



شکل 2 جسم الاستیک دوبعدی

و برای مولفه های جابجایی رابطه 17 را میتوان در نظر گرفت:

$$u_I^{12} = u_I^{21} \Rightarrow \begin{cases} u_{x_1}^I |_{\Gamma_I^{12}} = u_{x_1}^I |_{\Gamma_I^{21}} \\ u_{x_2}^I |_{\Gamma_I^{12}} = u_{x_2}^I |_{\Gamma_I^{21}} \end{cases}$$

$$u_I^{23} = u_I^{32} \Rightarrow \begin{cases} u_{x_1}^I |_{\Gamma_I^{32}} = u_{x_1}^I |_{\Gamma_I^{23}} \\ u_{x_2}^I |_{\Gamma_I^{32}} = u_{x_2}^I |_{\Gamma_I^{23}} \end{cases} \quad (17)$$

با اعمال شرایط حاکم و با توجه به اینکه مرزهای مشترک برای هر زیر دامنه به طور جداگانه منظور می شود می توان معادلات 13، 14 و 15 را با هم تلفیق و به صورت رابطه 18 ساده کرد.

$$\begin{bmatrix} H_E^1 & H_I^{12} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & H_I^{21} & H_E^2 & H_I^{23} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & H_I^{32} & H_E^3 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_E^1 \\ u_I^{12} \\ u_E^2 \\ u_I^{23} \\ u_E^3 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} G_E^1 & G_I^{12} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -G_I^{21} & G_E^2 & G_I^{23} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -G_I^{32} & G_E^3 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} t_E^1 \\ t_I^{12} \\ t_E^2 \\ t_I^{23} \\ t_E^3 \end{Bmatrix} \quad (18)$$

بطور خلاصه می توان رابطه 19 را نوشت:

$$[H^*] \begin{Bmatrix} u_E^1 \\ u_I^{12} \\ u_E^2 \\ u_I^{23} \\ u_E^3 \end{Bmatrix} = [G^*] \begin{Bmatrix} t_E^1 \\ t_I^{12} \\ t_E^2 \\ t_I^{23} \\ t_E^3 \end{Bmatrix} \quad (19)$$

ماتریس  $[H^*]$  یک ماتریس  $2(N_1+N_2+N_3+N_4+N_5) \times 2(N_1+N_2+N_3+N_4+N_5)$  تعداد  $N_1$  یک ماتریس  $4(N_1+N_2+N_3+N_4+N_5) \times 4(N_1+N_2+N_3+N_4+N_5)$  است که تعداد  $N_2$  گره ها بر روی مرز خارجی زیر ناحیه  $\Omega_1$ ،  $N_3$  تعداد گره ها بر روی مرز خارجی زیر ناحیه  $\Omega_2$ ،  $N_4$  تعداد گره های بر روی مرز مشترک و  $N_5$  تعداد گره های بر روی مرز مشترک است. در این معادله همه مقادیر مجهول جابه جایی و تراکشن به سمت راست و همه مقادیر معلوم جابه جایی و تراکشن بر روی مرزها، به سمت چپ آورده می شود. با انجام این کار معادله بر حسب مجهولات مرتب شده و به صورت رابطه 20 در می آید:

$$[A]\{x\} = [B] \quad (20)$$

ماتریس مجهولات  $\{x\}$  شامل مقادیر مجهول جابه جایی ها و تراکشن ها بر روی مرزهای خارجی و کلیه جابه جایی ها و تراکشن ها بر روی مرز مشترک میانی است. حل دستگاه معادلات فوق با یکی از روش های استاندارد قابل انجام خواهد بود.

در حل مساله معکوس، یعنی تخمین خواص مکانیکی سه ماده تشکیل دهنده جسم ناهمگن به همراه شناسایی مرزهای منظم داخلی، سعی شده است شرایط مرزی منطبق با شرایط آزمایش کشش در صنعت باشد. جسم مورد نظر به صورت کادر مربعی شکل به ابعاد  $a \times b$  متر مربع انتخاب شده است که حداقل از لحاظ استاتیکی مقید باشد.

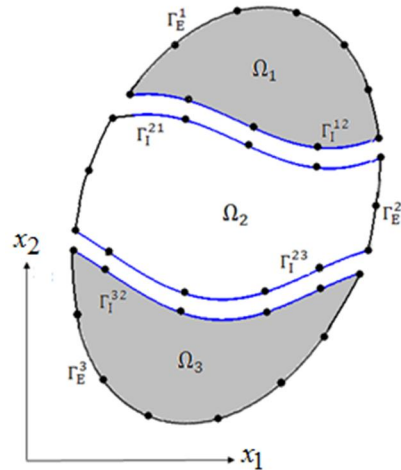
برای شبیه سازی مساله معکوس ماتریس های زیر تعریف می شوند:

$[u_b]$ : بردار ستونی ستونی شامل  $M$  جابجایی اندازه گیری شده مرزی

$[u_c]$ : بردار ستونی شامل همان  $M$  جابجایی مرزی که به وسیله روش المان مرزی محاسبه می شوند.

$[\Gamma]$  در مساله اول: بردار ستونی شامل 6 پارامتر مجهول

$(E_1, \nu_1, E_2, \nu_2, E_3, \nu_3)$  که باید در مساله معکوس تخمین زده شوند.



شکل 3 جسم الاستیک ناهمگن با سه زیر ناحیه در تماس

$\Omega_1, \Omega_2, \Omega_3$  تقسیم می شود، که هر یک دارای نسبت پواسون و مدول الاستیسیته خاص خود هستند و با دو مرز مشترک  $\Gamma_I^{12}(\Gamma_I^{21})$  و  $\Gamma_I^{23}(\Gamma_I^{32})$  از هم جدا شده اند.

اگر معادلات 12 برای هر زیر دامنه  $\Omega_1, \Omega_2, \Omega_3$  به صورت جداگانه اعمال شود می توان روابط 13، 14 و 15 نوشت:

$$\begin{bmatrix} H_E^1 & H_I^{12} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_E^1 \\ u_I^{12} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} G_E^1 & G_I^1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} t_E^1 \\ t_I^{12} \end{Bmatrix} \quad (13)$$

$$\begin{bmatrix} H_E^2 & H_I^{21} & H_I^{23} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_E^2 \\ u_I^{21} \\ u_I^{23} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} G_E^2 & G_I^2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} t_E^2 \\ t_I^{21} \\ t_I^{23} \end{Bmatrix} \quad (14)$$

$$\begin{bmatrix} H_E^3 & H_I^{32} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_E^3 \\ u_I^{32} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} G_E^3 & G_I^3 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} t_E^3 \\ t_I^{32} \end{Bmatrix} \quad (15)$$

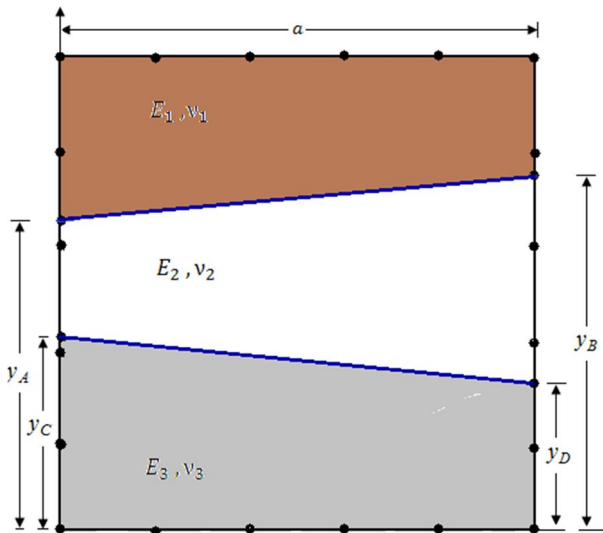
$t_E^1, u_E^1$ : مقادیر جابجایی ها و تراکشن ها در گره های مرز خارجی  $\Gamma_E^1$ .  
 $t_I^{12}, u_I^{12}$ : مقادیر جابجایی ها و تراکشن ها در گره های مرز مشترک  $\Gamma_I^{12}$ .  
 $t_E^2, u_E^2$ : مقادیر جابجایی ها و تراکشن ها در گره های مرز خارجی  $\Gamma_E^2$ .  
 $t_I^{21}, u_I^{21}$ : مقادیر جابجایی ها و تراکشن ها در گره های مرز مشترک  $\Gamma_I^{21}$ .  
 $t_I^{23}, u_I^{23}$ : مقادیر جابجایی ها و تراکشن ها در گره های مرز مشترک  $\Gamma_I^{23}$ .  
 $t_E^3, u_E^3$ : مقادیر جابجایی ها و تراکشن ها در گره های مرز خارجی  $\Gamma_E^3$ .  
 $t_I^{32}, u_I^{32}$ : مقادیر جابجایی ها و تراکشن ها در گره های مرز مشترک  $\Gamma_I^{32}$

امتدادهای  $x_2, x_1$

برای مولفه های تراکشن هر گره  $i$  بر روی مرزهای هموار و مشترک میانی می توان رابطه 16 را نوشت:

$$t_I^{12} = -t_I^{21} \Rightarrow \begin{cases} t_{x_1}^{(2i-1)} |_{\Gamma_I^{12}} = t_{x_1}^{(2i)} |_{\Gamma_I^{12}} = -t_{x_1}^{(2i-1)} |_{\Gamma_I^{21}} = -t_{x_1}^{(2i)} |_{\Gamma_I^{21}} \\ t_{x_2}^{(2i-1)} |_{\Gamma_I^{12}} = t_{x_2}^{(2i)} |_{\Gamma_I^{12}} = -t_{x_2}^{(2i-1)} |_{\Gamma_I^{21}} = -t_{x_2}^{(2i)} |_{\Gamma_I^{21}} \end{cases}$$

$$t_I^{32} = -t_I^{23} \Rightarrow \begin{cases} t_{x_1}^{(2i-1)} |_{\Gamma_I^{32}} = t_{x_1}^{(2i)} |_{\Gamma_I^{32}} = -t_{x_1}^{(2i-1)} |_{\Gamma_I^{23}} = -t_{x_1}^{(2i)} |_{\Gamma_I^{23}} \\ t_{x_2}^{(2i-1)} |_{\Gamma_I^{32}} = t_{x_2}^{(2i)} |_{\Gamma_I^{32}} = -t_{x_2}^{(2i-1)} |_{\Gamma_I^{23}} = -t_{x_2}^{(2i)} |_{\Gamma_I^{23}} \end{cases} \quad (16)$$



شکل 5 جسم الاستیک ناهمگن با سه زیر ناحیه در تماس

### 3- بهینه سازی

امروزه همراه با پیشرفت های ایجاد شده در فناوری و علوم رایانه توسعه چشمگیری در روش های حل مسائل «بهینه سازی» ایجاد شده است و دامنه کاربرد این روش ها بیش از پیش گسترش یافته است. این روش ها در حل مسائل اقتصادی، اجتماعی، مدیریتی و برنامه ریزی علمی و صنعتی به طور فزاینده و موثری به کار می روند. می توان روش های بهینه سازی را به دو دسته محلی و همگانی تقسیم بندی کرد. الگوریتم های بهینه سازی محلی دارای برخی مزایا از قبیل سرعت همگرایی خوب و بازسازی نسبتاً مناسب می باشند. به همین دلیل در اغلب مسائل معکوس از این روشها استفاده می شود. این الگوریتم ها امکان گیر افتادن در مینیمم محلی را دارند که در این صورت به جواب نادرست همگرا می شوند. برای اینکه این مشکل تا حدی برطرف شود، به اطلاعات اولیه در مورد نقطه شروع نیاز است. روش های برنامه ریزی ریاضی از جمله گرادیان مزدوج، روش های شبه نیوتن و روش سیمپلکس در زمره روش های بهینه سازی محلی قرار دارند. این روش ها زمانی به جواب همگانی<sup>1</sup> همگرا می شوند که اطلاعات پیشین در مورد حدس اولیه به تعریف تابع هدف افزوده شود. به هر حال هیچ اطمینانی وجود ندارد که بدون اطلاعات قبلی روش بهینه سازی محلی به مینیمم بهینه دست پیدا کند. بنابراین به منظور غلبه بر این محدودیت، روش بهینه سازی همگانی به کار برده می شود. در روش بهینه سازی همگانی مانند روش رقابت استعماری، نیاز به تعیین حدس اولیه<sup>2</sup> برای حرکت به سمت مینیمم نیست ولی محدوده پارامترها بایستی مشخص گردند. هر گونه اطلاعات قبلی در مورد پارامترها، محدوده آنها را کوچکتر کرده و این منجر به همگرایی سریعتر الگوریتم می شود.

### 3-1- الگوریتم رقابت استعماری [10]

فرآیند جستجوی جواب مناسب در حل بسیاری از مسائل مهندسی امری دشوار و اجتناب ناپذیر است. به همین منظور تعداد زیادی الگوریتم های جستجو برای انتخاب مناسب در حل مسائل ارائه شده است. الگوریتم های تکاملی یک گروه مهمی از الگوریتم های جستجو می باشند که در آنها با استفاده از قوانین تکاملی موجود در طبیعت برای یافتن جواب مناسب بهره

در مساله دوم: بردار ستونی شامل شش پارامتر مجهول  $[\Gamma]$  به همراه چهار مجهول نقاط ابتدایی و انتهایی مرزها  $(E_1, \nu_1, E_2, \nu_2, E_3, \nu_3, y_A, y_B, y_C, y_D)$  که باید در مساله معکوس تخمین زده شوند.

بنابراین برای مساله اول، به منظور تخمین خواص مکانیکی سه ماده مطابق شکل 4، ماتریس  $\Gamma$  به صورت زیر در نظر گرفته می شود:

$$[\Gamma] = [E_1, \nu_1, E_2, \nu_2, E_3, \nu_3]$$

و برای مساله دوم، مطابق شکل 5 برای تخمین خواص مکانیکی سه

ماده و هندسه مرزها، ماتریس  $\Gamma$  به صورت زیر می باشد:

$$[\Gamma] = [E_1, \nu_1, E_2, \nu_2, E_3, \nu_3, y_A, y_B, y_C, y_D]$$

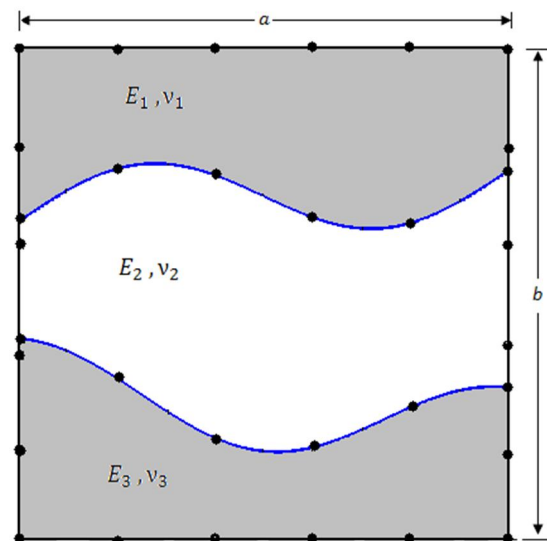
تابع هدف را که به صورت مجموع مربعات تفاضل بین جابجایی اندازه گیری شده و جابجایی محاسبه شده با استفاده از روش المان مرزی به صورت رابطه 21 در نظر گرفته شده، برای مساله اول با روش رقابت استعماری و برای مساله دوم با روش رقابت استعماری به همراه روش سیمپلکس بهینه می شود.

$$J[\hat{\Gamma}] = \sum_{m=1}^M [u_C^m - u_E^m]^2 \quad (21)$$

در این مقاله در نظر داریم مسئله شناسایی را تنها با اندازه گیری های سطحی که می تواند بصورت مولفه های جابجایی گره های رو مرز خارجی، بدست آمده از آزمایش کشش باشد، انجام دهیم. باید توجه داشته باشیم که ساده ترین آزمایش غیرمخرب جهت دستیابی به جابجایی های سطحی آزمایش کشش می باشد و بدین منظور نتایج حاصل از آزمایش کشش به عنوان اطلاعات در دسترس در حل مسئله معکوس مبنای کار ما قرار گرفته است.

در این تحقیق از نتایج آزمایشگاهی استفاده نمی شود و برای حل مسائل معکوس از اطلاعات به دست آمده از حل مستقیم مسئله استفاده خواهد شد. در واقع با شبیه سازی یک مسئله مثلاً یک مسئله کشش، از نتایج به دست آمده از حل مستقیم مسئله، به عنوان اطلاعات در دسترس استفاده خواهد شد.

همان طور که گفته شد، بهینه سازی تابع هدف مورد نظر در مساله اول با استفاده از روش بهینه سازی همگانی رقابت استعماری و در مساله دوم با تلفیقی از روش بهینه سازی همگانی و محلی (روش سیمپلکس) انجام می شود، که در ادامه توضیح مختصری در مورد دو روش داده می شود.



شکل 4 جسم الاستیک ناهمگن با سه زیر ناحیه در تماس

1- Global solution  
2- Initial guess

$$T.C._n = Cimp_n + \xi \cdot SCCq_n \quad (25)$$

در این رابطه،  $Cimp_n$  هزینه امپراطوری  $n$ ام،  $SCCq_n$  مجموع هزینه های مستعمرهای امپراطوری  $n$ ام و ثابت  $\xi$  عدد بین صفر و یک و نزدیک به صفر در نظر گرفته می شود. پس از محاسبه هزینه هر امپراطوری، مستعمره های امپراطوری های ضعیف حذف می شوند و به امپراطوری های قوی تر ملحق می شوند.

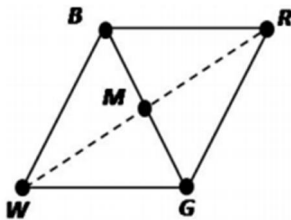
فرآیند جذب یا رقابت بین استعمارگرها تکرار می شود. در هر مرحله از تکرار الگوریتم، استعمارگری که قدرت کم تری دارد یکی از مستعمره های خود را از دست می دهد. مستعمره جدا شده از استعمارگر ضعیف تر، دارای کم ترین قدرت در بین تمام مستعمره های مربوط به آن استعمارگر می باشد. برای تصاحب مستعمره ها یک رقابتی میان کلیه امپراطوری ها ایجاد می شود. در مرحله بعد امپراطوری هایی که تمام مستعمره های خود را از دست داده اند، حذف می شوند و به صورت یک مستعمره به استعمارگر دیگری ملحق می شوند. این روند تا رسیدن به یک استعمارگر دارای بیش ترین قدرت ادامه می یابد. برای اتمام اجرای الگوریتم شرایطی به عنوان شرایط خاتمه در نظر گرفته می شود. از جمله این شرایط تعداد تکرار معینی از الگوریتم یا زمان اجرای مشخص را می توان نام برد. الگوریتم با رسیدن به شرایط خاتمه یا رسیدن به یک استعمارگر نهایی پایان می یابد.

### 3-2- روش سیمپلکس [11]

در این روش که توسط اسپندلی ابداع گردیده است، از یک شکل هندسی با قاعده برای انتخاب نقاط رؤس سیمپلکس جهت محاسبه تابع هدف استفاده می گردد. به طور مثال در حالتی که مساله دو بعدی در نظر گرفته شود یک مثلث متساوی الاضلاع شکل هندسی مزبور را تشکیل می دهد و در حالتی که مسئله سه بعدی باشد، این شکل به یک چهاروجهی با قاعده تبدیل می شود. با افزایش تعداد متغیرها تعداد رؤس افزایش پیدا می کند. ابتدا برای یک مساله دو بعدی به توضیح این روش پرداخته می شود و سپس تعمیم آن در حالت  $n$  بعدی ارائه می گردد.

در حالت دو بعدی برای تعیین هر امتداد جستجو ابتدا  $f(x)$  در سه رأس مثلث محاسبه می شوند، سپس امتداد جستجو از مرکز مثلث عبور کرده و از رأس مربوط به بزرگترین مقدار  $f(x)$  محاسبه شده، دور می شود. شکل زیر این فرایند را نشان می دهد. در این شکل  $W$  راسی می باشد که در آن تابع  $f(x)$  بیشترین مقدار را دارد. پس از آن مطابق شکل یک مثلث متساوی الاضلاع دیگر ساخته شده و رأس به دست آمده به عنوان نقطه جدید انتخاب و  $f(x)$  در آن نقطه محاسبه می شود. (به این فرایند انعکاس گفته می شود) به این ترتیب یک امتداد جستجوی جدید به دست می آید، این عمل آنقدر ادامه می یابد تا سیمپلکس نقطه بهینه را در میان گیرد. (شکل 6)

در این هنگام ادامه روند فوق نمی تواند منجر به نزدیکی بیشتر به نقطه بهینه گردد. بنابراین اندازه سیمپلکس باید کاهش یابد. در این حالت اضلاع



شکل 6 مرحله انعکاس در روش بهینه سازی سیمپلکس

گرفته می شود.

از جمله این روش ها الگوریتم های ژنتیک (الهام گرفته از تکامل موجودات)، کلونی مورچه ها (بر مبنای حرکت مورچه ها) و حرکت جمعی ذرات (الهام گرفته از حرکت دسته جمعی پرندگان و ماهی ها) را می توان نام برد

الگوریتم رقابت استعماری بر اساس پدیده اجتماعی و انسانی الهام گرفته شده است. این الگوریتم توسط آتش پز گرگری و لوکس در سال 2007 میلادی ارائه شد. الگوریتم رقابت استعماری یک الگوریتم قدرتمند برای بهینه سازی با مدل سازی ریاضی پدیده سیاسی - اجتماعی ارائه می کند.

در الگوریتم رقابت استعماری چندین کشور به عنوان جمعیت اولیه در نظر گرفته می شوند. انتخاب جمعیت اولیه کشورها به صورت تصادفی انجام می گیرد. با توجه به مقدار تابع هزینه، کشورهای موجود به دو دسته استعمارگر و مستعمره تقسیم می شوند. در ادامه، کشورهای دارای قدرت بیش تر به عنوان استعمارگر و بقیه به عنوان مستعمره انتخاب می شوند. بعد از مشخص شدن استعمارگرها با توجه به قدرت آن ها، سایر کشورها به صورت تصادفی به یکی از استعمارگرها منتسب می شوند. به مجموعه هر یک از استعمارگرها و مستعمره های مربوط به آن ها امپراطوری گفته می شود. روش دیگر تقسیم بندی مستعمره ها به هر یک از استعمارگرها، وابسته به هزینه نرمال شده آن ها می باشد که از رابطه 22 محاسبه می شود

$$C_n = \max_i \{C_i\} - C_n \quad (22)$$

در این رابطه هزینه استعمارگر  $n$  ام، بیش ترین هزینه میان استعمارگرها و هزینه نرمالیزه می باشد. قدرت نسبی نرمالیزه شده هر استعمارگر که در واقع نسبت بین مستعمره های آن امپریالیست به کل کشورهای مستعمره می باشد به صورت رابطه 23 محاسبه می شود.

$$P_n = \frac{C_n}{\sum_{i=1}^{N_{imp}} C_i} \quad (23)$$

هم چنین تعداد اولیه مستعمره های یک امپراطوری مطابق رابطه 24 محاسبه می گردد.

$$N.C._n = \text{round}\{P_n \cdot N_{col}\} \quad (24)$$

در این رابطه  $N_{col}$  تعداد کل کشورهای مستعمره موجود در جمعیت کشورهای اولیه می باشد. با توجه به  $N.C._n$  برای هر امپراطوری، تعدادی از کشورهای مستعمره اولیه به صورت تصادفی انتخاب می گردد و به استعمارگر  $n$  ام داده می شوند.

در مرحله بعد سعی می شود کشورهای استعمارگر با هدف تحلیل فرهنگ و ساختار اجتماعی مستعمره ها، کشورهای مستعمره در راستاهای مختلف سیاسی و اجتماعی به آن ها نزدیک شوند. سپس مستعمره ها به سمت کشور استعمارگر حرکت داده می شوند.

لازم به ذکر است در حین اجرای الگوریتم ممکن است بعضی از مستعمره ها به نقاطی در تابع هزینه برسند که هزینه کم تری نسبت به مقدار تابع هزینه در موقعیت استعمارگر داشته باشند. در این حالت جای مستعمره و استعمارگر عوض می شود و الگوریتم با کشور استعمارگر در موقعیت جدید ادامه می یابد و این بار کشور استعمارگر جدید شروع به اعمال سیاست هم گون سازی بر مستعمره های خود می کند.

برای محاسبه تابع هزینه، هزینه کل امپراطوری ها به صورت رابطه 25 محاسبه می شود.

جدول 1 میزان خطا، مدت زمان اجرای برنامه و تعداد تکرار

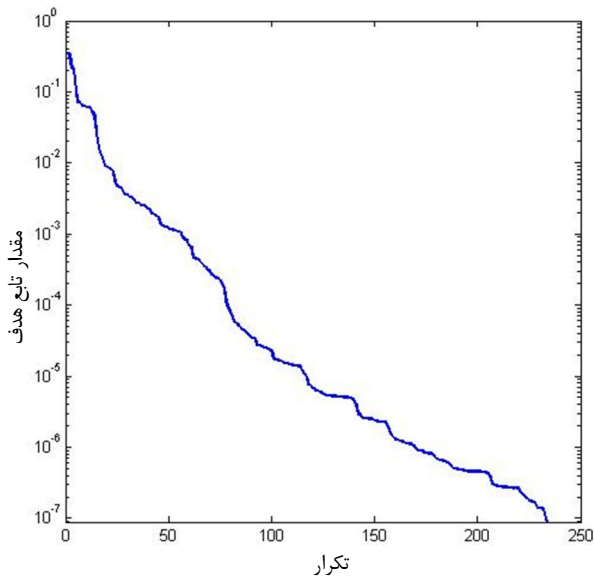
متغیرها	خواص و هندسه واقعی	روش رقابت استعماری	درصد میزان خطا
$E_1$ (GPa)	380	03/380	2379/0
$\nu_1$	203/0	20206/0	
$E_2$ (GPa)	179	94/178	0230/0
$\nu_2$	320/0	31996/0	
$E_3$ (GPa)	210	11/210	631/0
$\nu_3$	298/0	29788/0	
درصد خطای کلی		1080/0	
زمان اجرا (ثانیه)		754	
تکرار الگوریتم		234	

برای حل مساله معکوس، براساس چندین مساله حل شده حداقل تعداد اندازه گیری های لازم روی مرزهای خارجی به منظور رسیدن به کمترین مقدار تابع هدف و بهترین جواب 16 اندازه گیری می باشد. بنابراین، مقدار جابجایی ها در امتداد X و Y در 16 گره از گره های جانبی کادر اندازه گیری شده و به عنوان اطلاعات در دسترس مورد استفاده قرار می گیرند. میزان خطا، مدت زمان اجرای برنامه و تعداد تکرار در جدول 1 آورده شده است. همچنین نمودار مقدار تابع هدف بر حسب تکرار در شکل 9 آورده شده است.

در ادامه به منظور حل یک مساله تخمین همزمان خواص مکانیکی به همراه هندسه مرزها، جسم ناهمگنی متشکل از سه جسم همگن و ایزوتروپ با هندسه شکل 10 در نظر گرفته می شود.

برای حل مستقیم مساله مانند حالت قبل تعداد گره های روی هر کدام از مرزهای داخلی را 10 گره، و روی مرزهای خارجی را 32 گره در نظر گرفته که در مجموع 52 گره خواهیم داشت. (شکل 11)

همانند مثال قبل با حل مستقیم مساله از مولفه های جابجایی مجهول



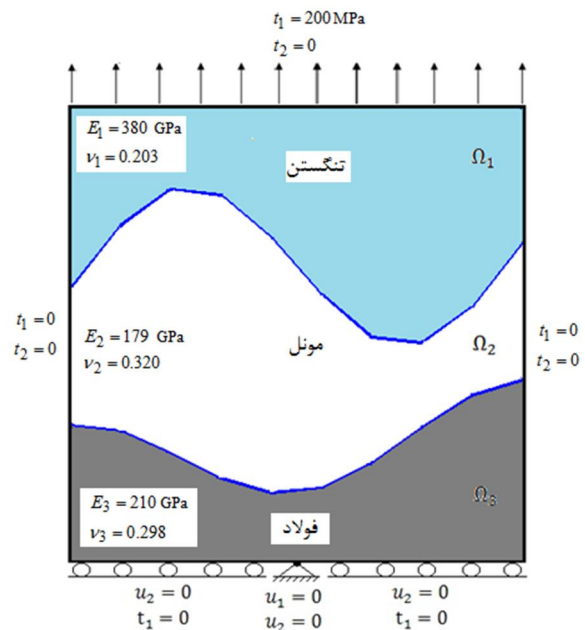
شکل 9 نمودار مقدار تابع هدف بر حسب تکرار

آخرین سیمپلکس به دو نیم تقسیم شده تا مجدداً نقطه بهینه خارج از سیمپلکس قرار گیرد و روند فوق ادامه پیدا می کند. در حالت  $n$  بعدی نیز دقیقاً همین فرآیند طی می شود با این تفاوت که شکل سیمپلکس ایجاد شده، دیگر مثلث متساوی الاضلاع نمی باشد.

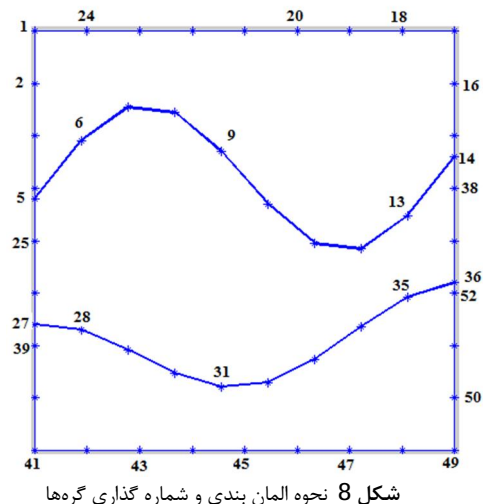
#### 4- نتایج

به منظور حل یک مساله تخمین خواص مکانیکی، جسم ناهمگنی متشکل از سه جسم همگن و ایزوتروپ با هندسه دلخواه شکل 7 در نظر گرفته می شود. برای حل مستقیم مساله تعداد گره های روی هر کدام از مرزهای داخلی را 10 گره، و روی مرزهای خارجی را 32 گره در نظر گرفته که در مجموع 52 گره خواهیم داشت. (شکل 8)

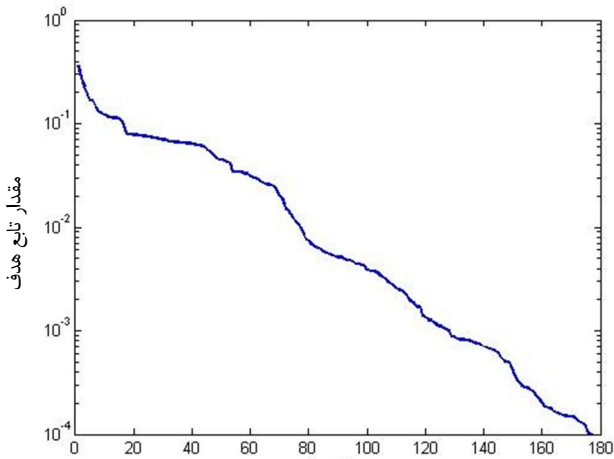
با حل مستقیم مساله، از مولفه های جابجایی مجهول به دست آمده، به عنوان اطلاعات در دسترس، برای تخمین خواص مکانیکی ماده ها (مدول الاستیسیته و ضریب پواسون) استفاده می شود. در حل مساله معکوس با استفاده از الگوریتم رقابت استعماری و مولفه های جابجایی روی مرز خارجی و با معلوم بودن هندسه داخلی مرزها، خواص مکانیکی سه ماده با دقت بالایی تخمین زده می شود.



شکل 7 جسم ناهمگن متشکل از سه جسم همگن و ایزوتروپ

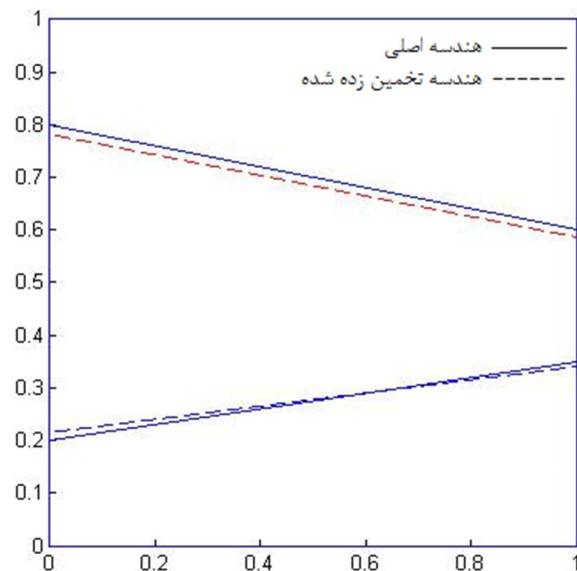


شکل 8 نحوه المان بندی و شماره گذاری گره ها

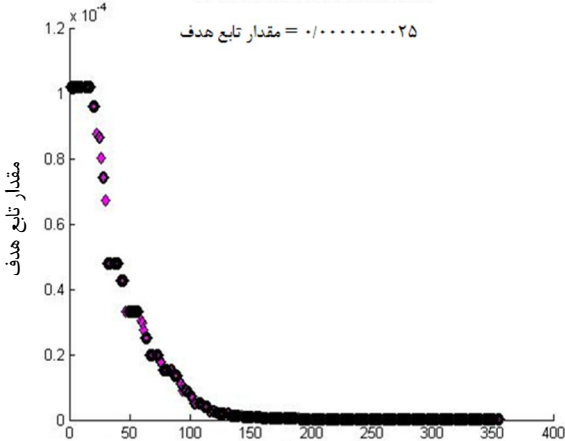


شکل 12 نمودار مقدار تابع هدف بر حسب تکرار برای الگوریتم رقابت استعماری  
شکل 15 نیز جواب بدست آمده از روش سیمپلکس را برای هندسه داخلی مرزها را نشان می‌دهد.

جواب‌های به دست آمده از روشهای بهینه سازی رقابت استعماری و روش سیمپلکس و همچنین مقدار تابع هدف و میزان خطا، در جدول 2 آورده شده است.



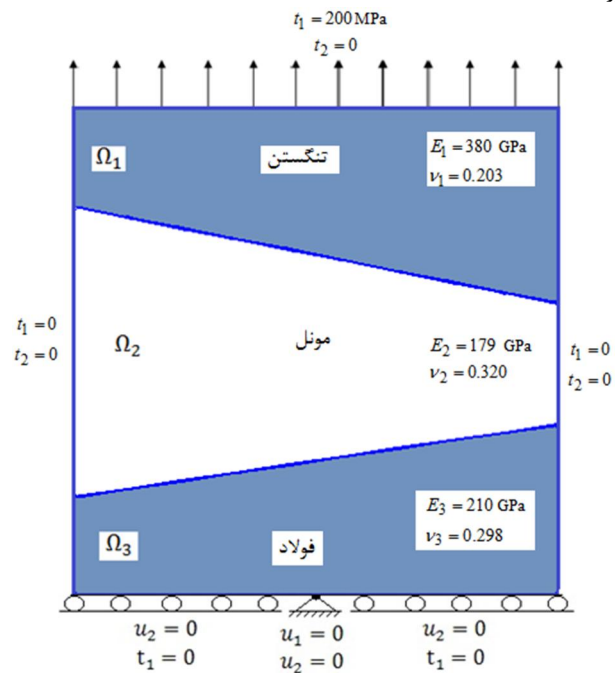
شکل 13 مرزهای واقعی و مرزهای تخمین زده شده با الگوریتم رقابت استعماری



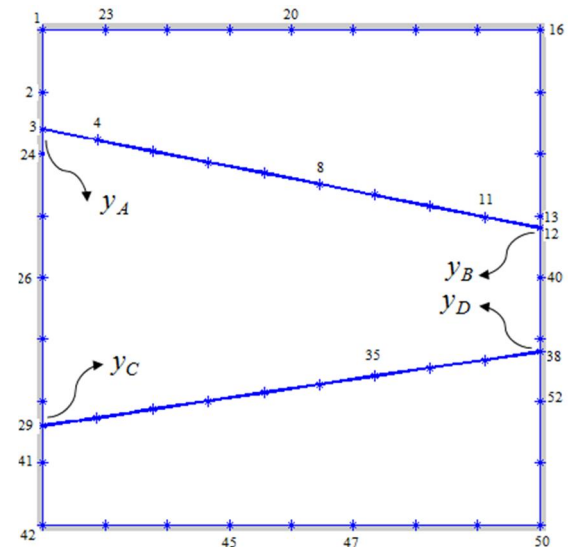
شکل 14 نمودار مقدار تابع هدف بر حسب تکرار برای روش بهینه سازی سیمپلکس

به دست آمده، به عنوان اطلاعات در دسترس، برای تخمین خواص مکانیکی ماده‌ها (مدول الاستیسیته و ضریب پواسون) به همراه هندسه مرزهای داخلی استفاده می‌شود. در حل مساله معکوس از جواب به دست آمده از الگوریتم رقابت استعماری به عنوان حدس اولیه برای روش سیمپلکس استفاده می‌شود. نمودار مقدار تابع هدف بر حسب تکرار برای روش رقابت استعماری در شکل 12 آورده شده است.

شکل 13 جواب بدست آمده از روش رقابت استعماری برای هندسه داخلی مرزها را نشان می‌دهد. همچنین جواب تخمینی به دست آمده از این روش برای خواص مکانیکی در جدول 2 آورده شده است. همان طور که قبلاً گفته شد از جواب به دست آمده از الگوریتم رقابت استعماری به عنوان حدس اولیه برای روش سیمپلکس استفاده می‌شود. نمودار مقدار تابع هدف بر حسب تکرار برای روش سیمپلکس در شکل 14 آورده شده است.



شکل 10 جسم ناهمگن متشکل از سه جسم همگن و ایزوتروپ



شکل 11 نحوه المان بندی و شماره گذاری گره‌ها



(الگوریتم رقابت استعماری) و محلی (روش بهینه سازی سیمپلکس) انجام شد. از پاسخ به دست آمده از رقابت استعماری به عنوان حدس اولیه برای روش سیمپلکس استفاده شد. از نتایج به دست آمده در جدول 2 می توان به کارایی روش بهینه سازی رقابت استعماری به همراه روش سیمپلکس در بهینه کردن تابع هدف مورد نظر پی برد.

#### 6- فهرست علائم

علائم لاتین:

$c$  هزینه استعمارگر

$C$  هزینه نرمالیزه

$E$  مدول الاستیسیته

$N$  تعداد گره ها

$t$  مولفه تراکشن

$T.C.$  هزینه کل امپراطوریه ها

$u$  مولفه جابجایی

$w$  تابع وزن

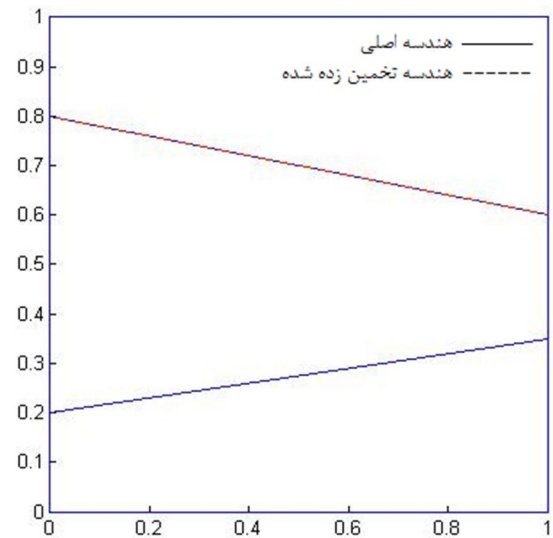
علائم یونانی:

$\sigma$  تنش

$\nu$  ضریب پواسون

#### 7- مراجع

- [1] M.Khodadad-Saryazdi, *Characterization of the Interior of an inhomogeneous Body Using Surface Measurements* Ph.D. Thesis, Michigan State University, East Lansing, Michigan, USA, 1990.
- [2] C.H Huang & Bor-H.C.A, *inverse geometry problem in identifying irregular boundary configurations*, Int. j. Heat. Mass Transfer, Vol. 40, NO.9, pp. 2045-2053, 1997.
- [3] H.S. Lee, CH.J. Park, and H.W. Park, *Identification of geometric shapes and material properties of inclusions in two-dimensional finite bodies by boundary parameterization*, Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, Volume. 1-3, pp. 1-20, 2000.
- [4] C.-H. Huang and C.-C. Shih, *A shape identification problem in estimating two interfacial configurations in multiple region domains*, Proceedings of the 5th International Conference on Inverse Problems in Engineering: Theory and Practice, Cambridge, 2005
- [5] M. Khodadad, M.DashtiArdakani, *Application of the inverse elasticity problem to identify irregular interfacial configurations*, Engineering Analysis with Boundary Elements, Vol. 181, pp. 1-20, 2008.
- [6] M. Khodadad, M.DashtiArdakani, *Inclusion Identification by Inverse Application of Boundary Element Method, Genetic Algorithm and Conjugate*, American Journal of Applied Sciences, 5 (9), pp. 1158-1166, 2008.
- [7] M.Dashti-Ardakani, M.Khodadad, *Identification of thermal conductivity and the shape of an inclusion using the boundary elements method and the particle swarm optimization algorithm*, Inverse Problems in Science and Engineering, vol. 17, No.5, pp. 855-870, 2009
- [8] M. Khodadad, M.Dashti-Ardakani, *Determination of the location, size and mechanical properties of an elastic inclusion using surface measurements*, Inverse Problems in Science and Engineering, vol. 17, No.5, pp.591-604, 2009
- [9] M. Dashti-Ardakani, M. Khodadad, *Shape Estimation of a cavity by inverse application of the boundary elements 2D elastostatics problem*, International Journal of computational methods, Vol. 10, No. 06, 1350042, 2013.
- [10] M.R Fattahi, H. ghane, A.M. Latif, *A suitable watermark strength selection using ICA in digital images*, International Journal of Signal and Data Processing, pp. 43-56, 2012 (In Persian)
- [11] M. Ghasemi, M. Khodadad, *Non-destructive detection of fractures, cavities and inclusions of metal casting parts using Boundary Element Method*, Second International Conference on Quality Engineering, 2013 (In Persian)



شکل 15 مرزهای واقعی و مرزهای تخمین زده شده با روش سیمپلکس

#### 4-2- نتیجه گیری و جمع بندی

در این مقاله ابتدا با استفاده از مولفه های جابجایی اندازه گیری شده روی مرزهای خارجی، مدول الاستیسیته و ضریب پواسون ماده همگن و ایزوتروپ تشکیل دهنده یکجسمناهمگن، به طور همزمان وبااستفاده از روش المان های مرزی و روش بهینه سازی همگانیرقابت استعماری تخمین زده شد. نتایج به دست آمده در جدول 1، (مدت زمان اجرای برنامه و میزان خطا) ارائه شد. در ادامه نیز سعی شد، علاوه بر تخمین مدول الاستیسیته و ضریب پواسون ماده همگن، هندسه مرزهای منظم داخلی نیز به طور همزمان شناسایی شود. که این کار بااستفاده از تلفیقی از روش بهینه سازی همگانی

جدول 2 جواب به دست آمده از روش های بهینه سازی رقابت استعماری و روش

سیمپلکس، مقدار تابع هدف، میزان خطا

متغیرها	خواص و هندسه واقعی	روش رقابت استعماری	روش سیمپلکس
$y_A$	8/0	7830/0	799/0
$y_B$	6/0	5860/0	5998/0
$y_C$	2/0	2141/0	1998/0
$y_D$	35/0	3409/0	3497/0
$E_1$ (GPa)	380	8279/364	944/379
$\nu_1$	203/0	20906/0	2030/0
$E_2$ (GPa)	179	177.1663	9/178
$\nu_2$	320/0	3266/0	3199/0
$E_3$ (GPa)	210	3370/208	01/210
$\nu_3$	298/0	2953/0	2980/0
مقدار تابع هدف	-----	00005/0	00000025/0
درص میزان خطا	-----	85/1	0388/0