

۴۰۱۱۰۴۱۰۲

۴۰۱۱۰۴۱۴۶

۴۰۱۱۰۴۴۷۹

سوپریور  
غزال زلفی موصلو  
محمد مهدی منتظری هدش

تحقیق در عملیات ۲ - دکتر رادمان



گزارش فاز سوم پروژه

تابستان ۱۴۰۴

## فهرست

۲	گزارش کدنویسی .....
۵	نتایج تحلیل حساسیت .....
۶	خروجی بخش تحلیل حساسیت در GAMS .....
۶	تحلیل حساسیت ۱ .....
۶	تحلیل حساسیت ۲ .....
۷	تحلیل حساسیت ۳ .....
۸	تحلیل حساسیت ۴ .....
۹	تحلیل حساسیت ۵ .....
۱۰	تحلیل و مصورسازی نتایج .....
۱۱	تحلیل حساسیت ۱ .....
۱۲	تحلیل حساسیت ۲ .....
۱۳	تحلیل حساسیت ۳ .....
۱۴	تحلیل حساسیت ۴ .....
۱۵	تحلیل حساسیت ۵ .....

## ❖ گزارش کدنویسی

### مجموعه‌ها

در ابتدای کد با استفاده از دستور `Set`، سه مجموعه اصلی زیر تعریف شده‌اند:

- $I$ : مجموعه کشتی‌ها
- $J$ : مجموعه اسکله‌ها
- $R$ : مجموعه بازه‌های تابع پله‌ای هزینه توقف

همچنین از یک `Alias` برای زوج کشتی‌ها  $(i, k)$  جهت تعریف ترتیب تخلیه استفاده شده است.

### پارامترها

با دستور `Parameter`، داده‌های مربوط به کشتی‌ها (ورود، بار، طول، اولویت) و اسکله‌ها (ظرفیت، هزینه، زمان آماده‌سازی، طول مجاز) وارد شدند. همچنین برخی پارامترها به صورت محاسباتی با استفاده از `Scalar` و فرمول تعریف شدند (مثلاً  $w_{max}(i)$  یا  $mat(i, k)$ )

تعریف پارامترهای استفاده شده در مدل GAMS شامل موارد زیر است:

- $A[i]$ : زمان ورود کشتی  $i$
- $Q[i]$ : بار (تعداد کانتینر) کشتی  $i$
- $L[i]$ : طول کشتی  $i$
- $P[i]$ : اولویت کشتی  $i$
- $T[i, j]$ : زمان تخلیه کشتی  $i$  در اسکله  $j$
- $w_{max\_factor}$ : به صورت اسکالر تعریف می‌شود و از آن در نوشتن پارامتر بعدی استفاده می‌شود.
- $w_{max}[i] = w_{max\_factor} \times (1 - P[i])$ : حداکثر زمان انتظار مجاز
- $mat[i, k]$ : ماتریسی برای بررسی اولویت کشتی‌ها

همچنین برای اسکله‌ها، ظرفیت پایه، ظرفیت اضافه، هزینه، حداکثر طول، و زمان آماده‌سازی با پارامترهای  $D[j], D_{bar}[j], h[j], maxl[j], delta[j]$  تعریف شده‌اند.

### متغیرها

در این بخش با استفاده از Variable و Binary Variable، متغیرهای تصمیم، متغیرهای زمان، هزینه، و متغیرهای مربوط به مدل پلهای هزینه توقف معرفی شدند.تابع هدف نیز به صورت  $\mathbb{Z}$  تعریف شد. تعریف متغیرهای استفاده شده در مدل GAMS شامل موارد زیر است:

- $z_{j,i}^x$ : باینری، تخصیص کشتی  $i$  به اسکله  $j$
- $s_{[i]}$ : زمان شروع تخلیه
- $w_{[i]}$ : زمان انتظار کشتی  $i$
- $u_{[j]}$ : ظرفیت مازاد مصرف شده در اسکله  $j$
- $y_{[i,k,j]}$ : ترتیب تخلیه در اسکله  $j$  بین کشتی  $i$  و  $k$
- $b_{[i,r]}$  و  $g_{[i,r]}$ : متغیرهای مدل سازی تابع قطعه‌ای هزینه انتظار
- $c_{[i]}$ : هزینه توقف نهایی برای کشتی  $i$
- $\mathbb{Z}$ : متغیر تابع هدف برای مینیمم سازی مجموع هزینه‌ها

### تابع هدف

تابع هدف مدل، مینیمم سازی سه مؤلفه است:

۱. مجموع زمان‌های تخلیه (با ضریب ۵)
۲. مجموع هزینه‌های ظرفیت اضافه اسکله‌ها
۳. مجموع هزینه‌های توقف کشتی‌ها (مدل شده به صورت پلهای)

که تابع هدف نیز به فرم یک Equation تعریف شده است.

### محدودیت‌ها

برای هر محدودیت، یک معادله با Equation تعریف شده و با  $=e=$  یا  $=l=g=$  بدنه معادلات نوشته شده است. مدل شامل محدودیت‌های زیر است:

- تخصیص دقیق هر کشتی به یک اسکله
- محدودیت ظرفیت و طول اسکله‌ها
- محدودیت تعداد کشتی‌ها در اسکله‌های خاص
- ترتیب تخلیه کشتی‌ها بر اساس اولویت با استفاده از  $y_{ikj}$
- محدودیت زمانی شروع تخلیه
- مدل سازی تابع هزینه توقف در سه بازه با استفاده از  $b_{[i,r]}$  و  $g_{[i,r]}$
- پیاده‌سازی M بزرگ برای محدودیت‌های منطقی زمان‌بندی

## حل مدل و نمایش نتایج

در انتهای، با استفاده از دستور `model`, مدل با تمام معادلات فراخوانی شده و با `solve` از نوع MIP حل شده است. سپس با `display` خروجی متغیرهای مهم نمایش داده شده‌اند.

S O L V E		S U M M A R Y	
MODEL	main	OBJECTIVE	Z
TYPE	MIP	DIRECTION	MINIMIZE
SOLVER	CPLEX	FROM LINE	213
<b>**** SOLVER STATUS</b>		1 Normal Completion	
<b>**** MODEL STATUS</b>		1 Optimal	
<b>**** OBJECTIVE VALUE</b>		1803.2706	

شکل ۱) خلاصهٔ حل مدل که از قسمت Solution Report قابل مشاهده است.

---- 214 VARIABLE x.L 1 if ship i is assigned to berth j				
	1	2	3	4
1		1.000		
2				1.000
3			1.000	
4	1.000			
5			1.000	
6		1.000		
7			1.000	
8				1.000

شکل ۲) نتایج تخصیص هر کشتی (ردیف) به اسکله (ستون) که از قسمت Display قابل مشاهده است.

## ❖ نتایج تحلیل حساسیت

برای پارامترهای موجود در جدول ۱ تحلیل حساسیت انجام دهید و نتایج و نظرات خود را از آن بیان کنید (بررسی تعییرات تابع هدف و جواب بهینه و مصورسازی نتایج).

جدول ۱

ردیف	پارامتر مورد نظر جهت انجام تحلیل حساسیت	تحلیل حساسیت
۱	زمان بین تخلیه دو کشتی در اسکله ۲	تحلیل حساسیت از مقدار ۵ دقیقه تا ۱۰ با گام ۰/۵
۲	زمان تخلیه کشتی شماره ۷ روی اسکله شماره ۳	تحلیل حساسیت از مقدار ۵ دقیقه تا ۱۵ با گام ۰/۵
۳	ظرفیت اسکله شماره ۲	تحلیل حساسیت از مقدار ۵ کانتینر تا ۴۰ با گام ۱
۴	ظرفیت اسکله شماره ۳	تحلیل حساسیت از مقدار ۵ کانتینر تا ۴۰ با گام ۱
۵	زمان رسیدن کشتی شماره ۶	تحلیل حساسیت از مقدار ۱ دقیقه تا ۵ با گام ۰.۱

برای انجام تحلیل حساسیت، از قابلیت حلقه‌سازی (Loop) در زبان GAMS استفاده شده است. در هر سناریو، یکی از پارامترهای کلیدی مدل (مانند ظرفیت اسکله، زمان تخلیه کشتی یا زمان آماده‌سازی اسکله) در بازه‌ای مشخص تعییر داده شده و مدل برای مقدار جدید پارامتر حل شده است.

در هر اجرای حلقه:

۱. مقدار پارامتر مورد نظر تنظیم شد.
۲. مدل مجدداً با مقدار جدید حل شد.
۳. خروجی‌های کلیدی (مثل مقدار تابع هدف، مقدار پارامتر تعییر یافته و تخصیص نهایی کشتی‌ها به اسکله‌ها) استخراج و ذخیره شدند.

برای ثبت نتایج هر تکرار، یک فایل خروجی با فرمت CSV با نام SensitivityAnalysis-P(i).csv تولید شد تا بتوان نتایج را به صورت عددی و گرافیکی تحلیل کرد یا برای استفاده‌های بعدی در نرم‌افزارهای دیگر مثل Python یا Excel ذخیره نمود.

## ❖ خروجی بخش تحلیل حساسیت در GAMS

### ➤ تحلیل حساسیت ۱

Scenario	delta2	Z	Ship1	Ship2	Ship3	Ship4	Ship5	Ship6	Ship7	Ship8
s1	5.00	1755.99	B2	B4	B3	B1	B3	B2	B3	B4
s2	5.50	1760.99	B2	B4	B3	B1	B3	B2	B3	B4
s3	6.00	1765.99	B2	B4	B3	B1	B3	B2	B3	B4
s4	6.50	1770.99	B2	B4	B3	B1	B3	B2	B3	B4
s5	7.00	1775.99	B2	B4	B3	B1	B3	B2	B3	B4
s6	7.50	1780.99	B2	B4	B3	B1	B3	B2	B3	B4
s7	8.00	1785.99	B2	B4	B3	B1	B3	B2	B3	B4
s8	8.50	1790.99	B2	B4	B3	B1	B3	B2	B3	B4
s9	9.00	1795.99	B2	B4	B3	B1	B3	B2	B3	B4
s10	9.50	1800.99	B2	B4	B3	B1	B3	B2	B3	B4
s11	10.00	1805.99	B2	B4	B3	B1	B3	B2	B3	B4

شكل ۳) نتایج تحلیل حساسیت روی زمان بین تخلیه دو کشتی در اسکله ۲

### ➤ تحلیل حساسیت ۲

Scenario	T(7-3)	Z	Ship1	Ship2	Ship3	Ship4	Ship5	Ship6	Ship7	Ship8
s1	5.00	1712.69	B2	B4	B3	B1	B3	B2	B3	B4
s2	5.50	1725.19	B2	B4	B3	B1	B3	B2	B3	B4
s3	6.00	1737.69	B2	B4	B3	B1	B3	B2	B3	B4
s4	6.50	1750.19	B2	B4	B3	B1	B3	B2	B3	B4
s5	7.00	1762.69	B2	B4	B3	B1	B3	B2	B3	B4
s6	7.50	1775.19	B2	B4	B3	B1	B3	B2	B3	B4
s7	8.00	1787.69	B2	B4	B3	B1	B3	B2	B3	B4
s8	8.50	1800.19	B2	B4	B3	B1	B3	B2	B3	B4
s9	9.00	1812.69	B2	B4	B3	B1	B3	B2	B3	B4
s10	9.50	1819.42	B3	B4	B3	B1	B3	B2	B2	B4
s11	10.00	1819.42	B3	B4	B3	B1	B3	B2	B2	B4
s12	10.50	1819.42	B3	B4	B3	B1	B3	B2	B2	B4
s13	11.00	1819.42	B3	B4	B3	B1	B3	B2	B2	B4
s14	11.50	1819.42	B3	B4	B3	B1	B3	B2	B2	B4
s15	12.00	1819.42	B3	B4	B3	B1	B3	B2	B2	B4
s16	12.50	1819.42	B3	B4	B3	B1	B3	B2	B2	B4
s17	13.00	1819.42	B3	B4	B3	B1	B3	B2	B2	B4
s18	13.50	1819.42	B3	B4	B3	B1	B3	B2	B2	B4
s19	14.00	1819.42	B3	B4	B3	B1	B3	B2	B2	B4
s20	14.50	1819.42	B3	B4	B3	B1	B3	B2	B2	B4
s21	15.00	1819.42	B3	B4	B3	B1	B3	B2	B2	B4

شكل ۴) نتایج تحلیل حساسیت روی زمان تخلیه کشتی شماره ۷ روی اسکله شماره ۳

## ➤ تحلیل حساسیت ۳

Scenario	D(2)	Z	Ship1	Ship2	Ship3	Ship4	Ship5	Ship6	Ship7	Ship8
s1	5	2088.74	B2	B4	B3	B1	B3	B4	B3	B2
s2	6	2082.86	B2	B4	B3	B1	B3	B4	B3	B2
s3	7	2076.98	B2	B4	B3	B1	B3	B4	B3	B2
s4	8	2071.10	B2	B4	B3	B1	B3	B4	B3	B2
s5	9	2044.23	B1	B4	B3	B2	B3	B2	B3	B4
s6	10	2022.66	B2	B4	B3	B1	B3	B2	B3	B4
s7	11	2016.78	B2	B4	B3	B1	B3	B2	B3	B4
s8	12	2010.90	B2	B4	B3	B1	B3	B2	B3	B4
s9	13	2005.02	B2	B4	B3	B1	B3	B2	B3	B4
s10	14	1999.14	B2	B4	B3	B1	B3	B2	B3	B4
s11	15	1993.26	B2	B4	B3	B1	B3	B2	B3	B4
s12	16	1987.38	B2	B4	B3	B1	B3	B2	B3	B4
s13	17	1981.50	B2	B4	B3	B1	B3	B2	B3	B4
s14	18	1975.62	B2	B4	B3	B1	B3	B2	B3	B4
s15	19	1969.73	B2	B4	B3	B1	B3	B2	B3	B4
s16	20	1963.85	B2	B4	B3	B1	B3	B2	B3	B4
s17	21	1957.97	B2	B4	B3	B1	B3	B2	B3	B4
s18	22	1952.09	B2	B4	B3	B1	B3	B2	B3	B4
s19	23	1946.21	B2	B4	B3	B1	B3	B2	B3	B4
s20	24	1907.63	B3	B4	B3	B1	B3	B2	B2	B4
s21	25	1901.75	B3	B4	B3	B1	B3	B2	B2	B4
s22	26	1895.87	B3	B4	B3	B1	B3	B2	B2	B4
s23	27	1889.99	B3	B4	B3	B1	B3	B2	B2	B4
s24	28	1884.11	B3	B4	B3	B1	B3	B2	B2	B4
s25	29	1878.23	B3	B4	B3	B1	B3	B2	B2	B4
s26	30	1872.35	B3	B4	B3	B1	B3	B2	B2	B4
s27	31	1866.47	B3	B4	B3	B1	B3	B2	B2	B4
s28	32	1860.59	B3	B4	B3	B1	B3	B2	B2	B4
s29	33	1854.71	B3	B4	B3	B1	B3	B2	B2	B4
s30	34	1848.83	B3	B4	B3	B1	B3	B2	B2	B4
s31	35	1842.95	B3	B4	B3	B1	B3	B2	B2	B4
s32	36	1837.06	B3	B4	B3	B1	B3	B2	B2	B4
s33	37	1831.18	B3	B4	B3	B1	B3	B2	B2	B4
s34	38	1825.30	B3	B4	B3	B1	B3	B2	B2	B4
s35	39	1819.42	B3	B4	B3	B1	B3	B2	B2	B4
s36	40	1819.42	B3	B4	B3	B1	B3	B2	B2	B4

شكل ۵) نتایج تحلیل حساسیت روی ظرفیت اسکله شماره ۲

## ► تحلیل حساسیت ۴

Scenario	D(3)	Z	Ship1	Ship2	Ship3	Ship4	Ship5	Ship6	Ship7	Ship8
s1	5	2103.08	B3	B4	B3	B1	B3	B2	B2	B4
s2	6	2094.21	B3	B4	B3	B1	B3	B2	B2	B4
s3	7	2085.35	B3	B4	B3	B1	B3	B2	B2	B4
s4	8	2076.49	B3	B4	B3	B1	B3	B2	B2	B4
s5	9	2067.62	B3	B4	B3	B1	B3	B2	B2	B4
s6	10	2058.76	B3	B4	B3	B1	B3	B2	B2	B4
s7	11	2049.89	B3	B4	B3	B1	B3	B2	B2	B4
s8	12	2041.03	B3	B4	B3	B1	B3	B2	B2	B4
s9	13	2032.17	B3	B4	B3	B1	B3	B2	B2	B4
s10	14	2023.30	B3	B4	B3	B1	B3	B2	B2	B4
s11	15	2014.44	B3	B4	B3	B1	B3	B2	B2	B4
s12	16	2005.57	B3	B4	B3	B1	B3	B2	B2	B4
s13	17	1996.71	B3	B4	B3	B1	B3	B2	B2	B4
s14	18	1987.84	B3	B4	B3	B1	B3	B2	B2	B4
s15	19	1978.98	B3	B4	B3	B1	B3	B2	B2	B4
s16	20	1970.12	B3	B4	B3	B1	B3	B2	B2	B4
s17	21	1961.25	B3	B4	B3	B1	B3	B2	B2	B4
s18	22	1952.39	B3	B4	B3	B1	B3	B2	B2	B4
s19	23	1943.52	B3	B4	B3	B1	B3	B2	B2	B4
s20	24	1934.66	B3	B4	B3	B1	B3	B2	B2	B4
s21	25	1925.79	B3	B4	B3	B1	B3	B2	B2	B4
s22	26	1916.93	B3	B4	B3	B1	B3	B2	B2	B4
s23	27	1908.07	B3	B4	B3	B1	B3	B2	B2	B4
s24	28	1899.20	B3	B4	B3	B1	B3	B2	B2	B4
s25	29	1890.34	B3	B4	B3	B1	B3	B2	B2	B4
s26	30	1881.47	B3	B4	B3	B1	B3	B2	B2	B4
s27	31	1872.61	B3	B4	B3	B1	B3	B2	B2	B4
s28	32	1863.74	B3	B4	B3	B1	B3	B2	B2	B4
s29	33	1854.88	B3	B4	B3	B1	B3	B2	B2	B4
s30	34	1846.02	B3	B4	B3	B1	B3	B2	B2	B4
s31	35	1837.15	B3	B4	B3	B1	B3	B2	B2	B4
s32	36	1828.29	B3	B4	B3	B1	B3	B2	B2	B4
s33	37	1819.42	B3	B4	B3	B1	B3	B2	B2	B4
s34	38	1819.42	B3	B4	B3	B1	B3	B2	B2	B4
s35	39	1819.42	B3	B4	B3	B1	B3	B2	B2	B4
s36	40	1819.42	B3	B4	B3	B1	B3	B2	B2	B4

شكل ۶) نتایج تحلیل حساسیت روی ظرفیت اسکله شماره ۳

## ➤ تحلیل حساسیت ۵

Scenario	A(6)	Z	Ship1	Ship2	Ship3	Ship4	Ship5	Ship6	Ship7	Ship8
s1	1.00	1830.60	B3	B4	B3	B1	B3	B2	B2	B4
s2	1.10	1829.60	B3	B4	B3	B1	B3	B2	B2	B4
s3	1.20	1828.60	B3	B4	B3	B1	B3	B2	B2	B4
s4	1.30	1827.60	B3	B4	B3	B1	B3	B2	B2	B4
s5	1.40	1826.60	B3	B4	B3	B1	B3	B2	B2	B4
s6	1.50	1825.60	B3	B4	B3	B1	B3	B2	B2	B4
s7	1.60	1824.60	B3	B4	B3	B1	B3	B2	B2	B4
s8	1.70	1823.60	B3	B4	B3	B1	B3	B2	B2	B4
s9	1.80	1822.60	B3	B4	B3	B1	B3	B2	B2	B4
s10	1.90	1821.60	B3	B4	B3	B1	B3	B2	B2	B4
s11	2.00	1820.60	B3	B4	B3	B1	B3	B2	B2	B4
s12	2.10	1819.60	B3	B4	B3	B1	B3	B2	B2	B4
s13	2.20	1818.60	B3	B4	B3	B1	B3	B2	B2	B4
s14	2.30	1817.60	B3	B4	B3	B1	B3	B2	B2	B4
s15	2.40	1816.60	B3	B4	B3	B1	B3	B2	B2	B4
s16	2.50	1815.60	B3	B4	B3	B1	B3	B2	B2	B4
s17	2.60	1814.60	B3	B4	B3	B1	B3	B2	B2	B4
s18	2.70	1813.60	B3	B4	B3	B1	B3	B2	B2	B4
s19	2.80	1812.60	B3	B4	B3	B1	B3	B2	B2	B4
s20	2.90	1811.60	B3	B4	B3	B1	B3	B2	B2	B4
s21	3.00	1810.60	B3	B4	B3	B1	B3	B2	B2	B4
s22	3.10	1809.60	B3	B4	B3	B1	B3	B2	B2	B4
s23	3.20	1808.60	B3	B4	B3	B1	B3	B2	B2	B4
s24	3.30	1807.60	B3	B4	B3	B1	B3	B2	B2	B4
s25	3.40	1806.60	B3	B4	B3	B1	B3	B2	B2	B4
s26	3.50	1805.60	B3	B4	B3	B1	B3	B2	B2	B4
s27	3.60	1804.60	B3	B4	B3	B1	B3	B2	B2	B4
s28	3.70	1803.60	B3	B4	B3	B1	B3	B2	B2	B4
s29	3.80	1802.60	B3	B4	B3	B1	B3	B2	B2	B4
s30	3.90	1801.60	B3	B4	B3	B1	B3	B2	B2	B4
s31	4.00	1800.60	B3	B4	B3	B1	B3	B2	B2	B4
s32	4.10	1799.60	B3	B4	B3	B1	B3	B2	B2	B4
s33	4.20	1798.60	B3	B4	B3	B1	B3	B2	B2	B4
s34	4.30	1797.60	B3	B4	B3	B1	B3	B2	B2	B4
s35	4.40	1796.60	B3	B4	B3	B1	B3	B2	B2	B4
s36	4.50	1795.60	B3	B4	B3	B1	B3	B2	B2	B4
s37	4.60	1794.60	B3	B4	B3	B1	B3	B2	B2	B4
s38	4.70	1793.60	B3	B4	B3	B1	B3	B2	B2	B4
s39	4.80	1792.60	B3	B4	B3	B1	B3	B2	B2	B4
s40	4.90	1791.60	B3	B4	B3	B1	B3	B2	B2	B4
s41	5.00	1790.60	B3	B4	B3	B1	B3	B2	B2	B4

شكل ۷) نتایج تحلیل حساسیت روی زمان رسیدن کشتی شماره ۶

## ❖ تحلیل و مصورسازی نتایج

حال با استفاده از فایل‌های CSV ذخیره شده در بخش قبلی، با استفاده از python نتایج را مصور کرده و تحلیل را روی آن انجام می‌دهیم. (به دلیل اینکه GAMS قابلیت ترسیم نمودار را پشتیبانی نمی‌کند بنابر پاسخ دستیار آموزشی خروجی‌های هر تحلیل حساسیت انجام شده با GAMS، فایل‌های CSV مذکور، را با بهره‌گیری از کد python نوشته شده در فاز ۲ پروژه مصور نمودیم و سپس نمودارهای حاصل را تحلیل می‌کنیم).

در هر بخش از تحلیل حساسیت، برای درک بهتر تأثیر تغییرات پارامترها بر عملکرد مدل، دو نوع نمودار ارائه می‌شود که هر یک نقش مشخصی در تحلیل دارند:

### نمودار اول: تحلیل تغییرات تابع هدف و مجموع زمان انتظار

این نمودار به صورت دو بعدی و با دو محور عمودی ترسیم شده است. محور افقی مقدار پارامتر تحلیل شونده (مثلاً فاصله زمانی آماده‌سازی بین تخلیه‌ها) را نشان می‌دهد. دو منحنی در این نمودار وجود دارد:

- منحنی آبی: نمایش دهنده مقدار تابع هدف برای هر مقدار از پارامتر.
- منحنی خاکستری (با خط‌چین): نمایش دهنده مجموع زمان انتظار کشته‌ها.
- خطوط قرمز عمودی (با خط‌چین): وجود این خطوط نشان دهنده این می‌باشد که در آن حالت، تخصیص کشته‌ها نسبت به مدل پایه تغییر کرده است.

این نمودار کمک می‌کند تا رابطه بین تغییرات پارامتر ورودی و دو معیار کلیدی مدل (هزینه کلی و زمان انتظار) بررسی شود. رفتار صعودی یا نزولی منحنی‌ها نشان دهنده حساسیت بالای مدل نسبت به آن پارامتر است.

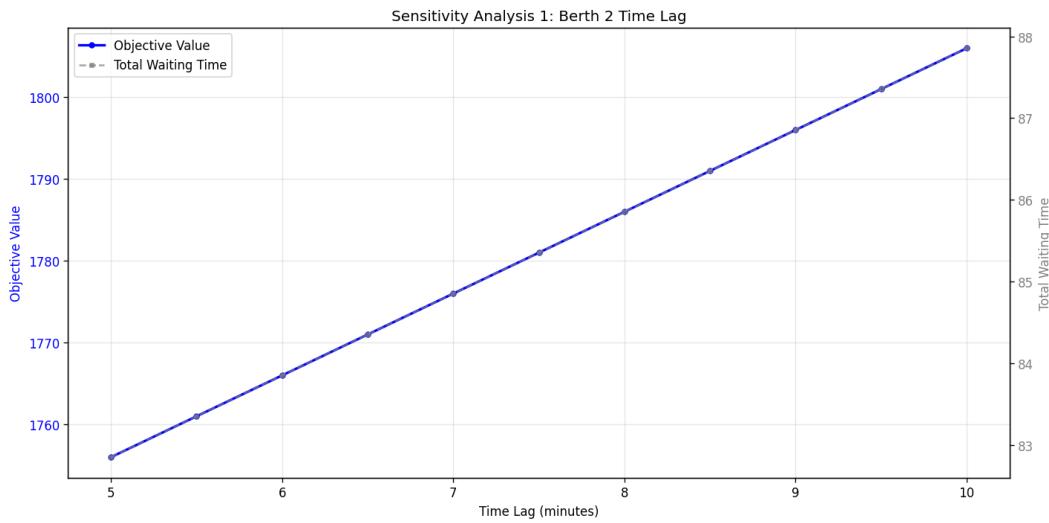
### نمودار دوم: بررسی تغییرات تخصیص کشته‌ها به اسکله‌ها

در این نمودار، تخصیص کشته‌ها به اسکله‌ها برای مقادیر مختلف پارامتر نمایش داده می‌شود. در اینجا:

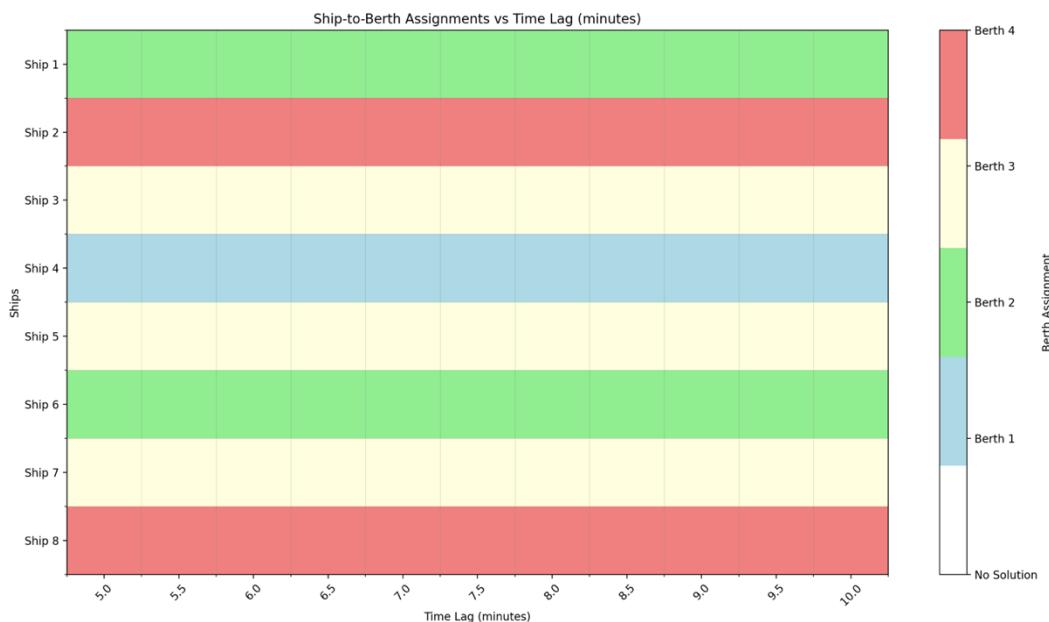
- محور افقی تغییرات پارامتر (مثلاً مقدار جدید فاصله زمانی یا ظرفیت)
- محور عمودی کشته‌ها
- رنگ هر خانه بیانگر اسکله‌ای است که کشته به آن تخصیص داده شده

این نمودار به وضوح نشان می‌دهد که آیا تغییر پارامتر باعث تغییر در تخصیص بهینه شده است یا نه. اگر رنگ‌های یک ردیف (یک کشته) در طول محور افقی ثابت باشند، تخصیص آن کشته در برابر آن پارامتر مقاوم بوده است.

## ➤ تحلیل حساسیت ۱



شکل ۸) تحلیل حساسیت تابع هدف و مجموع زمان انتظار



شکل ۹) مقایسه نحوه تخصیص کشتی‌ها با حالت پایه

در این بخش، lag اسکله ۲ از ۵ تا ۱۰ دقیقه تغییر داده شده و تأثیر آن بر تابع هدف و تخصیص کشتی‌ها بررسی شده است.

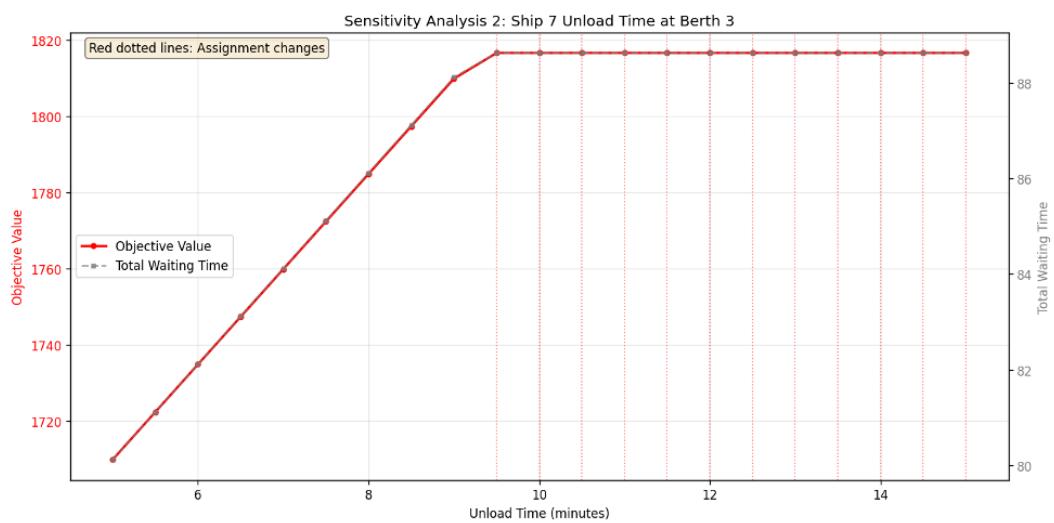
### نمودار اول: تابع هدف و مجموع زمان انتظار

با افزایش lag، هر دو مقدار تابع هدف و مجموع زمان انتظار به صورت خطی افزایش یافته‌اند. این نشان می‌دهد که مدل نسبت به این پارامتر حساس است و افزایش وقفه در اسکله ۲ باعث تأخیر در زمان‌بندی کل سیستم شده است.

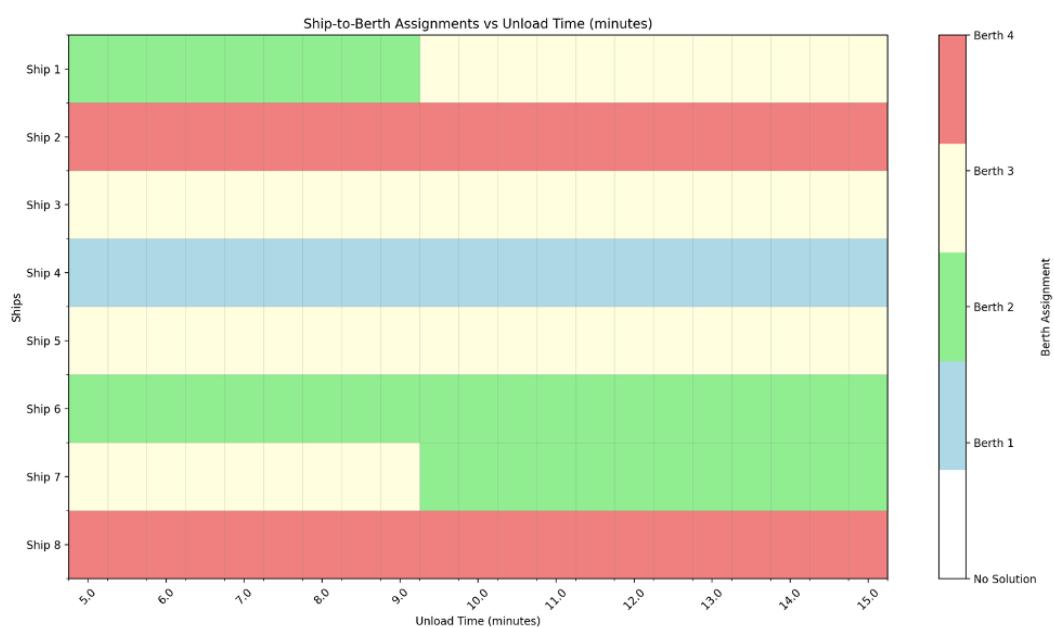
### نمودار دوم: تخصیص کشتی‌ها به اسکله‌ها

تخصیص‌ها در تمام سناریوهای ثابت باقی مانده‌اند. این نشان می‌دهد که مدل برای کاهش هزینه ترجیح داده زمان‌بندی را تغییر دهد، نه اسکله‌دهی را.

## ► تحلیل حساسیت ۲



شكل ۱۰) تحلیل حساسیت تابع هدف و مجموع زمان انتظار



شكل ۱۱) مقایسه نحوه تخصیص کشتی‌ها با حالت پایه

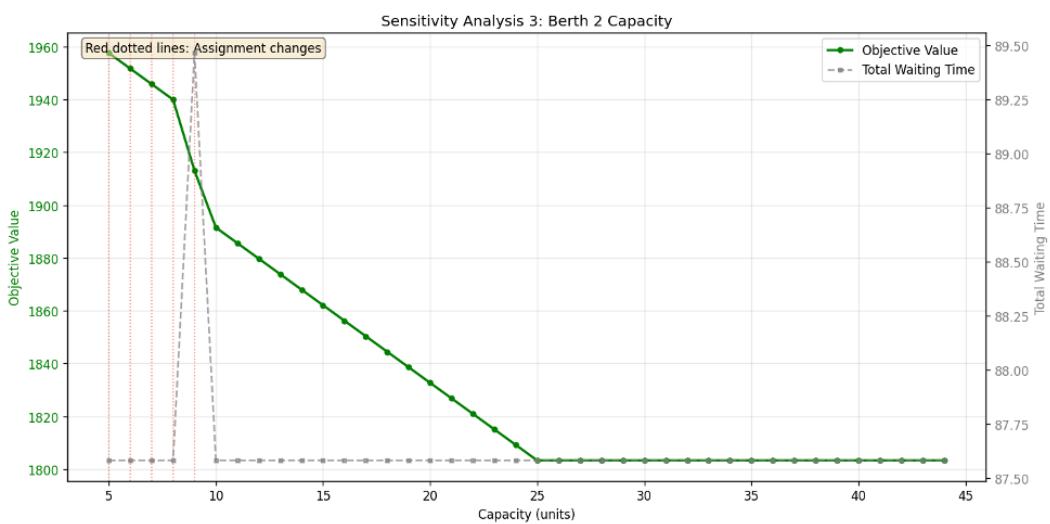
## نمودار اول: تابع هدف و مجموع زمان انتظار

با افزایش زمان تخلیه، مقدار تابع هدف و مجموع زمان انتظار نیز افزایش یافته‌اند. از مقدار حدود ۱۰ دقیقه به بعد، تابع هدف به حالت اشباع می‌رسد و تغییر چندانی نمی‌کند. خطوط قرمز عمودی نشان‌دهنده نقاطی هستند که تخصیص کشتی‌ها تغییر کرده است.

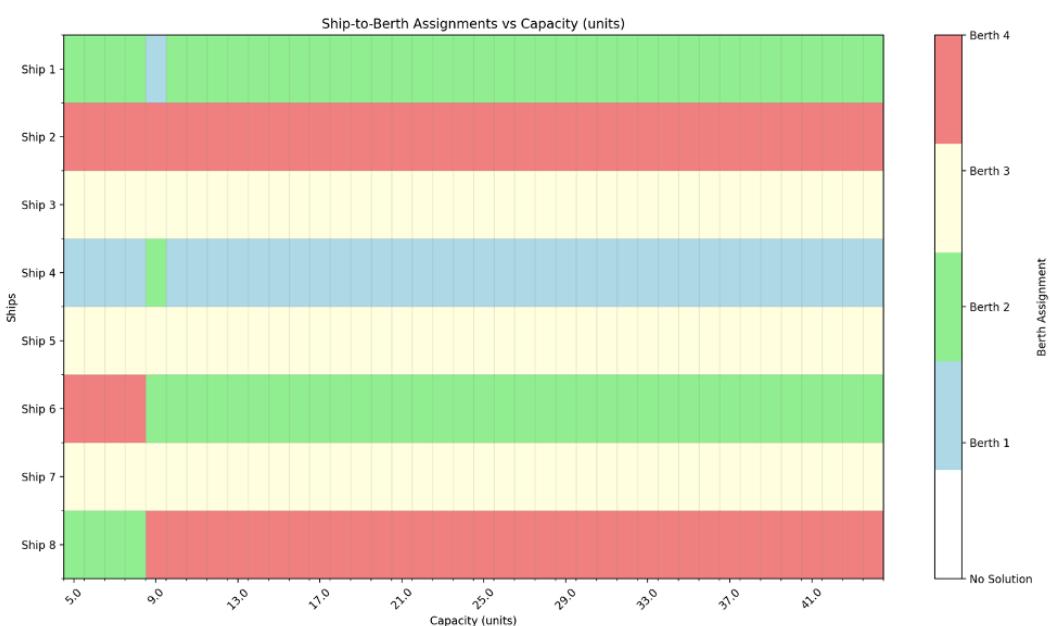
## نمودار دوم: تخصیص کشتی‌ها به اسکله‌ها

در مقدارهای پایین‌تر، کشتی ۷ در اسکله ۳ تخلیه می‌شود. اما با افزایش زمان تخلیه، از یک نقطه به بعد کشتی ۷ به اسکله ۲ منتقل می‌شود. این انتقال باعث جابجایی کشتی ۱ نیز می‌شود.

### ► تحلیل حساسیت ۳



شکل ۱۲) تحلیل حساسیت تابع هدف و مجموع زمان انتظار



شکل ۱۳) مقایسه نحوه تخصیص کشتی‌ها با حالت پایه

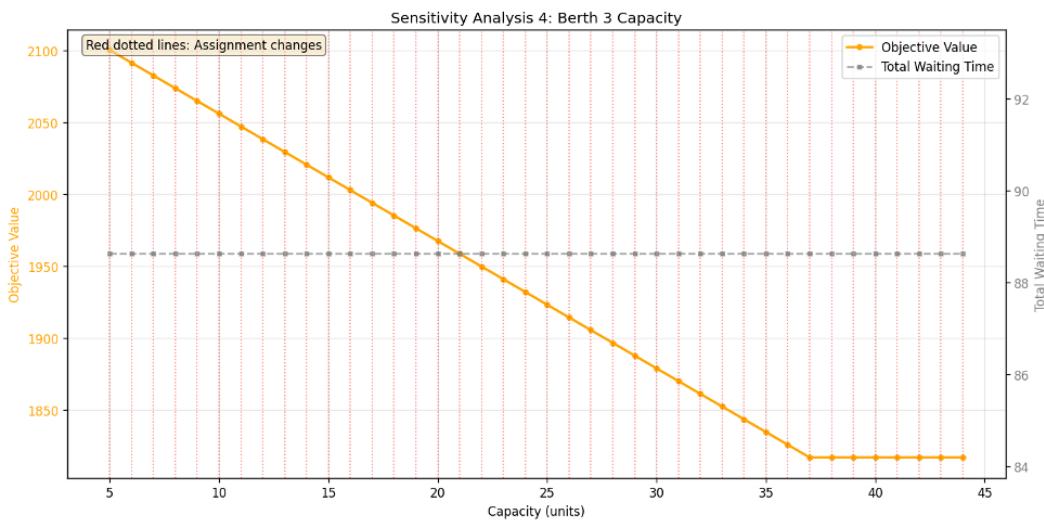
### نمودار اول: تابع هدف و مجموع زمان انتظار

با افزایش ظرفیت، مقدار تابع هدف به طور پیوسته کاهش یافته و در حوالی ظرفیت ۲۵ به حالت پایدار می‌رسد. مجموع زمان انتظار نیز ابتدا کاهش محسوس دارد و سپس ثابت می‌ماند. خطوط قرمز عمودی، نقاطی را نشان می‌دهند که تخصیص کشتی‌ها تغییر کرده‌اند.

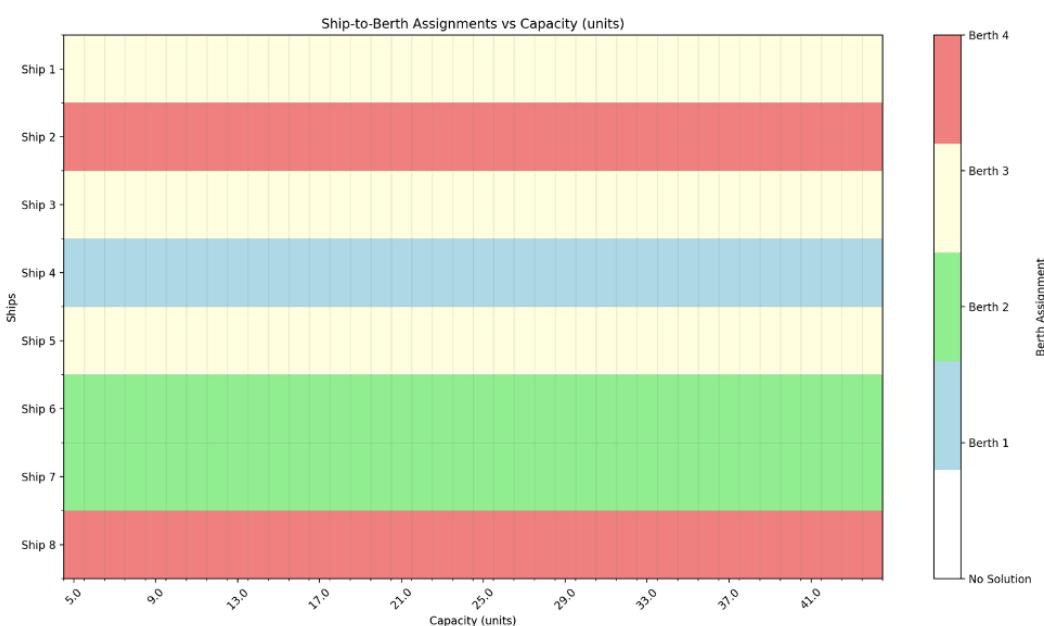
### نمودار دوم: تخصیص کشتی‌ها به اسکله‌ها

در ظرفیت‌های پایین، محدودیت ظرفیت مانع استفاده از اسکله ۲ برای برخی کشتی‌ها شده است. با افزایش ظرفیت، کشتی‌های بیشتری به اسکله ۲ منتقل شده و در نتیجه تخصیص بهینه تغییر کرده است. پس از یک مقدار آستانه، ساختار تخصیص نیز ثابت باقی مانده است.

## ➤ تحلیل حساسیت ۴



شکل ۱۴) تحلیل حساسیت تابع هدف و مجموع زمان انتظار



شکل ۱۵) مقایسه نحوه تخصیص کشتی‌ها با حالت پایه

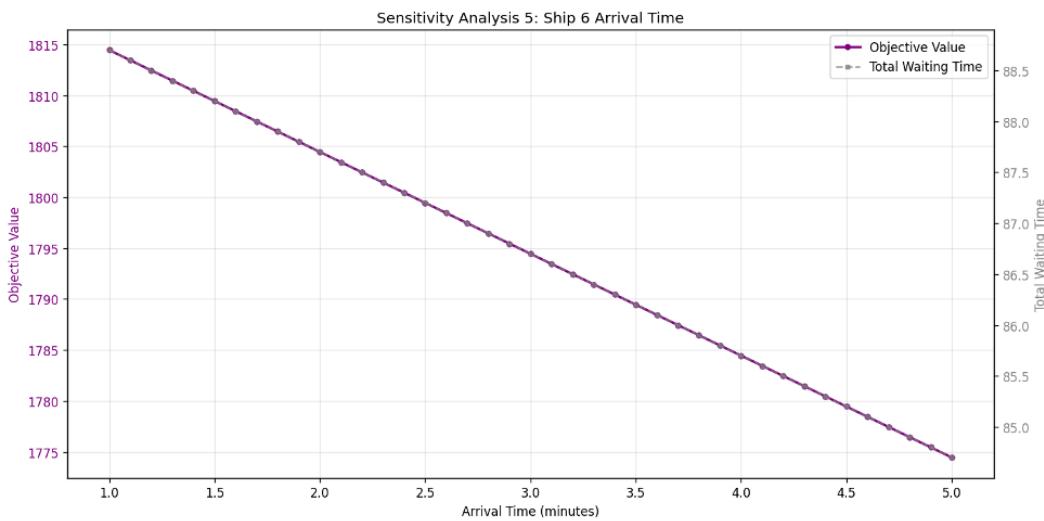
### نمودار اول: تابع هدف و مجموع زمان انتظار

تابع هدف با افزایش ظرفیت به صورت یکنواخت کاهش یافته و پس از حدود ظرفیت ۳۷ به مقدار ثابت می‌رسد. مجموع زمان انتظار تغییری نکرده و ثابت باقی مانده است. خطوط قرمز عمودی نشان‌دهنده نقاطی هستند که در آن‌ها تخصیص کشتی‌ها تغییر کرده‌اند.

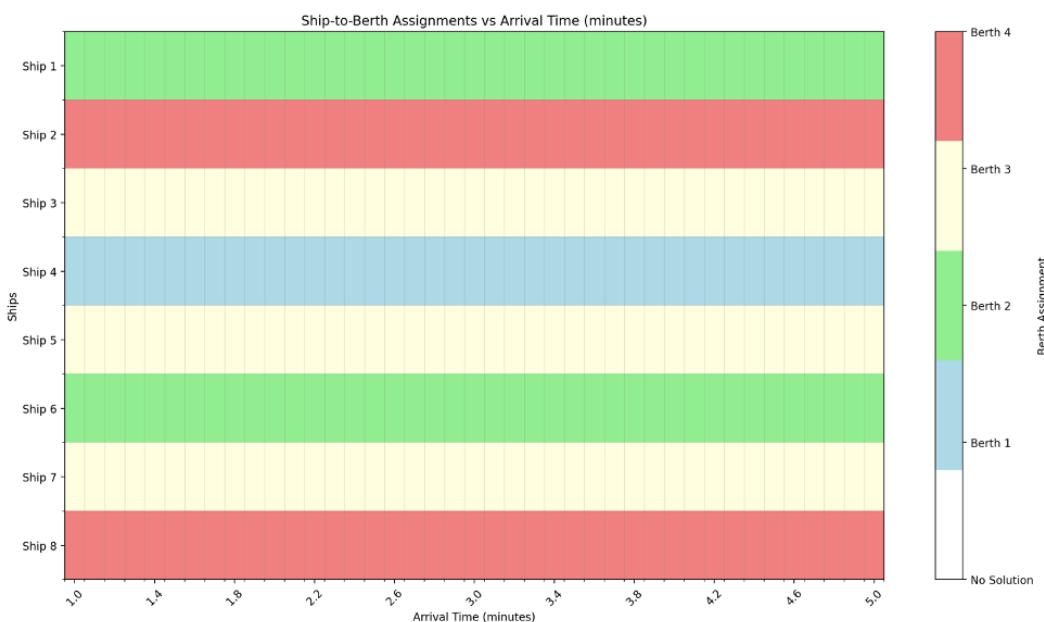
### نمودار دوم: تخصیص کشتی‌ها به اسکله‌ها

با افزایش ظرفیت، کشتی‌های تخصیص یافته به اسکله ۳ نسبت به مدل پایه تغییر کرده است اما در بازه‌ای که این تغییرات را بررسی کردیم، تخصیص‌ها ثابت مانده‌اند.

## ➤ تحلیل حساسیت ۵



شکل ۱۶) تحلیل حساسیت تابع هدف و مجموع زمان انتظار



شکل ۱۷) مقایسه نحوه تخصیص کشتی‌ها با حالت پایه

### نمودار اول: تابع هدف و مجموع زمان انتظار

با کاهش زمان ورود، تابع هدف و مجموع زمان انتظار هر دو به صورت یکنواخت کاهش یافته‌اند. این رفتار نشان‌دهنده اثر مستقیم ورود زودتر بر بهبود عملکرد مدل است. مدل از این فرصت برای کاهش توقف‌ها و بهبود زمان‌بندی استفاده کرده است.

### نمودار دوم: تخصیص کشتی‌ها به اسکله‌ها

در تمام سناریوهای تخصیص کشتی ۶ (و سایر کشتی‌ها) بدون تغییر باقی مانده است. یعنی ورود زودتر تنها باعث بهبود زمان‌بندی شده و ساختار تخصیص را تحت تأثیر قرار نداده است.