



Available Online: <http://jmst.kmsu.ac.ir>

Original Article



Review of crane effect on turbulence behavior of wind on an offshore helideck

Hamid Reza Karimi¹, Etemad O'Din Rabei Gholami^{*1}, Nima Shahni Karamzadeh²

1- Naval Architecture and Marine Engineering, Faculty of Marine Engineering, Khorramshahr University of Marine Science and Technology, Khorramshahr, Iran.

2- Department of Offshore Structures, Faculty of Marine Engineering, Khorramshahr University of Marine Science and Technology, Khorramshahr, Iran.

* Corresponding author Email: rabei@kmsu.ac.ir

Received: 26 December 2018

Revise Date: 27 May 2020

Accepted: 2 June 2020

DOI: 10.22113/JMST.2020.164460.2247

Abstract

Development of industrial activities in the offshore areas has led to the importance of safety of helicopters. Understanding the behavior of the wind around Helideck, especially on take-off, approach and landing are essential to enhance the safe operation of helicopters. In this regard, legislators have imposed restrictions on the operation of helicopters under varying conditions of disturbance through the standards and rules. In this paper based on the Reynolds-averaged Navier-Stokes theory, the wind current on the SPD19-A offshore platform from the 19th phase of south pars gas field complex in the CFD environment is modeled, taking into account all the effective equipment. Considering variables such as wind direction, the horizontal and vertical direction of the crane boom, 42 scenarios considered to an appropriate insight of turbulence conditions been provided. The Norsok standard has been used to select the assessment criteria and the two criteria Horizontal velocity deviation and Turbulence energy has been evaluated, also the stream lines from numerical and experimental modeling have been compared. The results indicate that in the East-West wind direction, the increase in the vertical angle of the boom improves the turbulence conditions in the center of the Helideck. In the direction of the northeast-southwest, the increase in the vertical angle of the boom causes the turbulence conditions in the helideck center to become more complicated. Also, based on the turbulence kinetic energy index, the increase of the vertical angle of the boom for both wind directions makes turbulence conditions more complicated.

Keywords: wind behavior; turbulence; Crane; offshore jacket; helicopter.

1. INTRODUCTION

Helicopters play a vital role in offshore operations for the rapid transportation of personnel and equipment to marine installations. The safety of helicopter operations near offshore platforms has become increasingly critical with the expansion of industrial activities in offshore areas. Understanding wind behavior around helidecks, particularly during take-off, approach, and landing maneuvers, is essential for enhancing operational safety. Regulatory bodies have established standards and guidelines to restrict helicopter operations under various turbulence conditions.

Copyrights:

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted Journal of Marine Science and Technology. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.



Historical incidents highlight the significance of aerodynamic considerations in offshore platform design. The 1995 Claymore platform incident, while resulting in no fatalities, challenged existing knowledge about airflow hazards and demonstrated the need to consider environmental factors near platforms. According to marine accident databases, approximately 260 helicopter incidents occurred during offshore operations between 1970 and 2010, resulting in 646 fatalities, representing about 30% of all offshore accident-related deaths. Previous research has established that wind flow near platforms becomes non-uniform, creating turbulent zones, vortex flows, and regions with variable acceleration. Von Blohn et al. (1979) conducted early wind tunnel experiments on a 1:150 scale jacket platform model, demonstrating that increasing helideck elevation improves turbulence behavior. Chen et al. (1995) investigated flow around cube arrays, validating both Large Eddy Simulation (LES) and RANS approaches for turbulence prediction. de Carvalho e Silva et al. (2010) combined numerical modeling and wind tunnel testing for a ship with a helideck, confirming that numerical methods can provide adequate turbulence insight even for complex geometries.

The NORSOK C-004 standard (2013) and CAP 437 (Authority, 2005) provide assessment criteria for helicopter operations, defining acceptable limits for horizontal velocity deviation (1.75 m/s) and turbulence kinetic energy. While considerable research exists on offshore helideck aerodynamics, most studies remain industrial with limited academic publication. The specific influence of crane configuration, as one of the most significant movable pieces of equipment on the upper deck, on wind turbulence around helidecks requires systematic investigation. This study aims to evaluate the effect of crane boom orientation on wind flow characteristics around an offshore platform helideck through comprehensive numerical simulation, considering various wind directions and crane positions.

2. MATERIALS AND METHODS

The research methodology combines numerical simulation using Computational Fluid Dynamics (CFD) with experimental validation through wind tunnel testing. The study framework addresses the research question: How do crane boom horizontal and vertical angles affect wind turbulence patterns on an offshore helideck? The numerical modeling employed the Reynolds-averaged Navier-Stokes (RANS) approach with the standard k-epsilon turbulence model, implemented in ANSYS CFD software. This approach was selected based on its proven accuracy for simulating turbulent flows around bluff bodies at moderate Reynolds numbers, as validated by previous researchers including Maleki et al. (2017), Abdi and Bitsuamlak (2014), and Mentzoni and Ertesvag (2015). The platform model was based on the SPD19-A jacket from the South Pars gas field complex Phase 19. The topside measures 40 m in length and 32 m in width, comprising five levels with a total height of 14 m. The helideck is cantilevered on the western face at 25.7 m above sea level, with the crane positioned on the eastern face. The computational domain consisted of a cylindrical control volume with a 100 m radius and 75 m height above sea level, with the platform centered within this volume. Forty-two scenarios were simulated, considering two primary wind directions (East-West and Northeast-Southwest) based on preliminary analyses indicating maximum crane influence on helideck turbulence. Wind velocity was set at 30 m/s, representing storm conditions in the region. Crane horizontal orientation varied across seven angles (0°, 30°, 60°, 90°, 120°, 150°, and 180°), with 0° aligned with the southern direction. Crane boom vertical angle varied across three positions (0°, 20°, and 40°). Mesh independence studies determined optimal element sizes: 1 m for the sea surface, 0.2 m for the upper deck, and 0.1 m for the helideck vicinity, resulting in approximately 2 million nodes and 10 million elements. The first-order upwind scheme was employed for equation convergence. Validation comprised two approaches. First, the Silsoe cube experiment (6 m cube in open terrain) was numerically reproduced and compared with field measurements by Richards and Hoxey (2002, 2006), demonstrating acceptable agreement. Second, a 1:200 scale 3D-printed model of the complete topside was tested in the educational-research wind tunnel at Khorramshahr University of Marine Science and Technology. The tunnel has a 35×35 cm cross-section, capable of generating 15 m/s wind velocity. Using Froude number similarity, an equivalent wind velocity of 1 m/s was employed for flow visualization using smoke generation. Turbulence assessment followed NORSOK C-004 (2013) and CAP 437 (Authority, 2005) criteria, evaluating horizontal velocity deviation and turbulence kinetic energy. According to these standards, significant turbulence corresponds to horizontal velocity deviation exceeding 1.75 m/s, with flight restriction zones identified where deviation exceeds 2.4 m/s or turbulence kinetic energy ranges between 6.8 and 12.8 m²/s².

3. RESULTS

Analysis of horizontal velocity deviation at the helideck center reveals distinct patterns based on wind direction and crane configuration. For East-West wind direction, increasing the boom vertical angle from 0° to 40° reduces velocity deviation by approximately 20%, particularly evident at 0° and 60° crane horizontal angles. This improvement is most pronounced in the lower altitude regions critical for helicopter operations: the skid zone (0-0.5 m above deck), cabin and blade zone (0.5-4 m), approach zone (4-10 m), and control zone (10-30 m). For the Northeast-Southwest wind direction, crane configurations at 120° and 150° horizontal angles show significant sensitivity to boom vertical angle. In contrast to the East-West direction, increasing the boom vertical angle from 0° to 40° increases velocity deviation by approximately 15%, creating more complex turbulence conditions at the helideck center. Turbulence kinetic energy analysis provides a comprehensive assessment of flow conditions around the helideck. For East-West wind with crane at 0° horizontal angle, increasing boom vertical angle from 0° to 40° generates an elongated elliptical turbulent region of approximately 2500 m³ volume above the helideck and helicopter approach path. This turbulent zone corresponds to approximately a fivefold increase in turbulence kinetic energy compared to the horizontal boom configuration. At 30° crane horizontal angle (East-West wind), the vertical boom creates a high-velocity region around the helideck, with turbulent volume reaching approximately 500 m³ in the approach path. Similar patterns emerge at 150° horizontal angle, where vertical boom orientation generates substantial flow disturbance affecting approach corridor stability. Wind tunnel flow visualization confirms numerical model predictions. For East-West wind with a crane at 0° horizontal and vertical angles, flow streamlines show a transition from laminar to turbulent regime as the wind encounters the crane structure. When the crane orientation changes to a 90° horizontal angle, reducing the obstruction cross-section, flow remains predominantly laminar with reduced turbulence intensity. The comparison between numerical and experimental streamlines demonstrates acceptable agreement, validating the numerical approach for simulating turbulent flow around complex offshore structures at low wind speeds. Both methods capture the primary flow features, including separation zones, recirculation regions, and wake formation behind the crane structure.

4. DISCUSSION AND CONCLUSION

This study demonstrates that crane configuration significantly influences wind turbulence characteristics on offshore platform helidecks, with implications for helicopter operational safety. The research provides a quantitative assessment of how crane boom orientation affects turbulence patterns, enabling evidence-based recommendations for crane positioning during helicopter operations. The most critical finding relates to the adverse effect of increasing the crane boom vertical angle. Elevating the boom from horizontal (0°) to 40° generates extensive high-velocity turbulent regions above the helideck, reaching approximately 2500 m³ volume. This turbulent zone corresponds to approximately a fivefold increase in turbulence kinetic energy, exceeding established safety thresholds and necessitating suspension of helicopter operations according to NORSOK and CAP 437 criteria. Based on these results, the study recommends positioning crane booms horizontally during helicopter operations to minimize turbulence hazards. Crane horizontal orientation also substantially influences flow conditions. Maximum turbulence occurs when the crane boom is perpendicular to the wind flow crossing the helideck. For East-West wind direction, optimal crane positions correspond to horizontal angles of 90°, 120°, 150°, and 180°. For the Northeast-Southwest wind direction, optimal configurations similarly include 90°, 120°, 150°, and 180° horizontal angles. These orientations minimize boom interference with wind flow across the helideck. The validation process confirms that the RANS approach with the standard k-epsilon turbulence model adequately captures flow characteristics around complex offshore structures at low wind speeds. Acceptable agreement between numerical predictions, Silsoe cube field measurements, and wind tunnel experiments supports the methodology's reliability for engineering applications. Several limitations warrant consideration. The study assumes steady-state conditions with constant temperature, incompressible flow, and neglects atmospheric stratification and Earth's rotation effects. Future research should investigate unsteady flow phenomena, consider thermal effects from exhaust plumes, and evaluate additional equipment configurations. Experimental studies with Particle Image Velocimetry (PIV) could provide detailed validation of turbulent structures.

Practical implications extend beyond the specific platform geometry studied. The findings inform operational procedures for crane positioning during helicopter flights and contribute to design guidelines for future offshore installations. The demonstrated relationship between crane configuration and turbulence patterns supports the development of site-specific operational envelopes considering prevailing wind directions and

crane usage patterns. In conclusion, this research establishes that crane boom orientation significantly affects helideck turbulence, with horizontal positioning providing optimal conditions for helicopter operations. The study contributes to enhanced safety in offshore aviation by providing quantitative guidance for crane management during flight operations.

5. ACKNOWLEDGEMENT

This research was supported by the Faculty of Marine Engineering, Khorramshahr University of Marine Science and Technology. The authors acknowledge the technical staff of the wind tunnel laboratory for their assistance with experimental measurements.

REFERENCES

- Abdi, D.S. and Bitsuamlak, G.T., 2014. Wind flow simulations on idealized and real complex terrain using various turbulence models. *Advances in Engineering Software*, 75, pp.30-41. DOI: 10.1016/j.advengsoft.2014.05.002
- Authority, C.A., 2005. CAP 437. Offshore Helicopter Landing Areas-Guidance on Standards. 6th ed. UK Civil Aviation Authority, London.
- Chen, Q., Gu, Z., Sun, T. and Song, S., 1995. Wind environment over the helideck of an offshore platform. *Journal of wind engineering and industrial aerodynamics*, 54, pp.621-631. DOI: 10.1016/0167-6105(94)00077-Q
- de Carvalho e Silva, D.F., Pagot, P.R., Nader, G. and Jabardo, P.J.S., 2010. January. CFD Simulation and wind tunnel investigation of a FPSO offshore helideck turbulent flow. In *International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering* (Vol. 49149, pp. 771-781). DOI: 10.1115/OMAE2010-20686.
- Maleki, S., Burton, D. and Thompson, M.C., 2017. Assessment of various turbulence models for predicting the aerodynamics of freight train container wagons. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 170, pp.68-80. DOI: 10.1016/j.jweia.2017.07.008
- Mentzoni, F. and Ertesvåg, I.S., 2015. On turbulence criteria and model requirements for numerical simulation of turbulent flows above offshore helidecks. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 142, pp.164-172. DOI: 10.1016/j.jweia.2015.03.022
- NORSOK C-004, 2013. *Helicopter deck on offshore installations*, 2nd ed. Standards Norway, Oslo.
- Richards, P.J. and Hoxey, R.P., 2006. Flow reattachment on the roof of a 6 m cube. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 94(2), pp.77-99. DOI: 10.1016/j.jweia.2005.12.002
- Richards, P.J., Hoxey, R.P. and Short, J.L., 2000. Spectral models for the neutral atmospheric surface layer. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 87(2-3), pp.167-185. DOI: 10.1016/S0167-6105(00)00035-0
- Von Blohn, K.H., Peterka, J.A., Cermak, J.E., Barnard, E.J. and Ewald, R.L., 1979, April. Offshore Platform Hell Deck Location for Minimum Wind Turbulence. In *Offshore Technology Conference* (pp. OTC-3431). OTC. <https://doi.org/10.4043/3431-MS>



مقاله پژوهشی

Available Online: <http://jmst.kmsu.ac.ir>



ارزیابی اثر جرقیل بر رفتار اغتشاشی جریان باد حول عرشه سکوی دریایی

حمید رضا کریمی^۱، اعتمادالدین رابعی غلامی^{۱*}، نیما شهنی کرم زاده^۲

۱. گروه مهندسی دریا، کشتی سازی، دانشکده مهندسی دریا، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر، خرمشهر، ایران.
۲. گروه سازه های دریایی، دانشکده مهندسی دریا، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر، خرمشهر، ایران.

نویسنده مسئول، پست الکترونیک: rabei@kmsu.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۳/۱۳

تاریخ بازنگری: ۱۳۹۹/۰۳/۰۷

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۰/۰۵

شناسه دیجیتال (DOI): 10.22113/JMST.2020.164460.2247

چکیده

شناخت رفتار باد در اطراف تأسیسات فراساحلی از الزامات اساسی جهت بالا بردن اطمینان از عملیات ایمن می باشد. در این مقاله جریان باد روی سکوی فراساحلی فاز ۱۹ پارس جنوبی با در نظر گرفتن تجهیزات تأثیرگذار، به صورت عددی و با استفاده از روش متوسط گیری شده معادلات ناویر-استوکس شبیه سازی شده است. با در نظر گرفتن متغیرهایی همچون جهت جریان باد و جهت بوم جرقیل چهل و دو سناریو در نظر گرفته شده است. از استاندارد Norsok و معیارهایی همچون سرعت افقی و انرژی اغتشاش برای ارزیابی اغتشاش استفاده شده است. جهت صحت سنجی علاوه بر استفاده از مدل های میدانی موجود، از آزمایش های تونل باد نیز کمک گرفته شده است. نتایج نشان می دهد در جهت وزش شرقی-غربی، افزایش زاویه عمودی بوم باعث کاهش ۲۰ درصدی شرایط اغتشاش در مرکز هلیدک و در جهت شمال شرقی-جنوب غربی، افزایش زاویه عمودی بوم باعث افزایش اغتشاش به اندازه ۱۵ درصد در مرکز هلیدک می شود. همچنین بر اساس شاخص انرژی جنبشی اغتشاش، افزایش زاویه عمودی بوم از ۰ به ۴۰ درجه باعث ایجاد ناحیه اغتشاشی حجیم در راستای تقرب هلیکوپتر می شود.

واژگان کلیدی: اغتشاش باد، جرقیل دریایی، روش متوسط گیری شده معادلات ناویر-استوکس، سکوی فراساحلی

۱. مقدمه

بررسی ایمنی عملیات هلیکوپتر؛ جریان مغشوش، نیروهای بالا برنده و نیروهای پایین کشنده در شرایطی که سرعت در موضعی مشخص از سرعت متوسط باد کمتر یا بیشتر باشد قابل توجه است (Kawabata et al., 1975).

بنابراین برای عملیاتی ایمن، طراحی تأسیسات می بایست به گونه ای صورت گیرد که از تولید اغتشاشات زیاد یا ایجاد مناطق با تغییرات عمده سرعت که ناشی از شکل یا موقعیت قرارگیری سازه ها، تجهیزات، جرقیل ها، برج های حفاری، آگزوزهای هوای گرم، برج های مشعل یا خود هلیدک است، جلوگیری شود (Nakayama et al., 1991).

هلیکوپترها با داشتن سهمی ویژه در عملیات پشتیبانی، جهت انتقال سریع کارکنان و تجهیزات مورد استفاده قرار می گیرند. به منظور ایمنی عملیات هلیکوپتر، قانون گذاران با تدوین ضوابط و استانداردها، شرایط خطرناک جهت انجام عملیات را مشخص کرده اند. در نزدیکی سکو، جهت و قدرت باد غیریکنواخت شده و باعث ایجاد مناطق با جریان هوای مغشوش، جریان های گردابی و مناطق با شتاب متغیر می شود (Rowe et al., 2002). خلبان ها با خطرات حاصل از جریان های مغشوش ناشی از رفتار باد در اطراف سکوها آشنا هستند، بر اساس اولین گزارش های میدانی در زمینه ی

Copyrights:

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted Journal of Marine Science and Technology. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.



کلی دو تئوری گردابه بزرگ و ناویر-استوکس رینولدز متوسط قابلیت مناسبی در برآورد اغتشاش دارند. de Carvalho e Silva et al. (2010) مدل یک کشتی دارای هلیدک را به کمک مدل عددی و تونل باد مورد مطالعه قراردادند. نتایج مدل سازی ها نشان داد مدل های عددی حتی در صورت پیچیده بودن هندسه سازه می توانند بینشی مناسب از اغتشاش ارائه کنند و ایجاد لایه های مرزی در مدل سازی عددی می تواند به دقت حل کمک کند. منتزونی و همکاران با استفاده از مدل دینامیک سیالات محاسباتی، ۹ رویکرد معمول در شبیه سازی اغتشاش را مدل سازی و با نتایج تونل باد یک سازه شناور و یک مکعب مقایسه کردند. نتایج به دست آمده نشان داد که روش های مبتنی بر رویکرد دو معادله (Two-Equation) نسبت به روش های مبتنی بر معادله انتقال (Transition-Equation) دقت بیشتری دارند. از جمله روش های مبتنی بر دو معادله، روش کا-اپسیلون می باشد (Mentzoni and Ertesvag, 2015).

الزامات مطالعه رفتار باد در حوزه عملیات هلیکوپتر از مدارک مهم طراحی هر سازه فراساحلی دارای هلیدک می باشد اما این مطالعات عمدتاً صنعتی بوده و کمتر جنبه علمی-پژوهشی دارد. در این راستا، هدف از این مقاله بررسی اثر جرثقیل به عنوان یکی از مهم جزء تأثیر گذار سازه بر مشخصات جریان باد حول هلیدک یک سکوی فراساحلی است تا با به دست آوردن نتایج مدل عددی اثرپذیری اغتشاش از تغییر زاویه وزش باد و تجهیزات سکو سنجیده شود.

۲- مواد و روش ها

مجموعه ای از کامل ترین مقررات موجود در زمینه طراحی و ساخت هلیدک ها و محدودیت های استفاده از هلیکوپترها در بخش فراساحلی صنایع دریایی و هیدروکربنی در کشور نروژ و تحت عنوان استانداردهای NORSOK تدوین شده است. دومین ویرایش این استاندارد، تحت عنوان NORSOK C-004 (2013) شامل مجموعه توصیه هایی جهت استفاده از دینامیک سیالات محاسباتی است که به وسیله آن بتوان رفتار اغتشاشی باد را ارزیابی نمود. سه توصیه مهم این استاندارد در مدل سازی عددی اغتشاش شامل این موارد است: ۱- حجم کنترل شبیه سازی شده در اطراف سکو باید به اندازه ای باشد تا به وضوح شرایط محیطی به خصوص آنچه روی هلیدک اتفاق می افتد را نشان دهد. ۲- نوسانات افقی سرعت باد نباید از مقادیر مشخص شده بیشتر شود. ۳- مدل مورد استفاده از نوع مدل سازی تفاضلی اغتشاش باشد.

در کشور انگلستان مقررات منتشر شده توسط سازمان هواپیمایی این کشور، تحت عنوان CAA و CAP شناخته می شوند و

توجه به اهمیت مسائل آئرو دینامیک از حادثه سکوی کلیمر (Claymore) در سال ۱۹۹۵ نشأت گرفت. هر چند این حادثه تلفات انسانی بر جای نگذاشت، اما دانش موجود در مورد خطرات ناشی از جریان هوا را به چالش کشید و باعث احساس نیاز در لحاظ نمودن مسائل محیطی در نزدیکی سکوها شد. تحقیقات نشان داد خلبان با هدایت هلیکوپتر به دلالتی از هوای گرم خارج شده از آگزوز سکوی استخراجی مجاور، باعث چنین حادثه ای شده است (AAIB, 1996). بر اساس اطلاعات بانک اطلاعات دریایی، از سال ۱۹۷۰ تاکنون ۲۶۰ مورد حادثه هلیکوپتر در حین عملیات فراساحل رخ داده است که باعث کشته شدن ۶۴۶ نفر شده است و حدود ۳۰ درصد کشته های کل حوادث دریایی را شامل می شود (OGP, 2010). در سال ۱۹۸۲ و با توجه به درخواست دبیر سازمان هوایی انگلستان، یک ارزیابی کلی در استانداردهای عملیات هلیکوپتر صورت گرفت. کمیته ای مشترک از متخصصان سازمان هوایی انگلستان تشکیل شد و حاصل کار آن ها تحت گزارشی به عنوان هارپ بود که در سال ۱۹۸۴ منتشر شد (CAA, 1984). در سال ۱۹۹۷ طی گزارشی که بر اساس نظرخواهی از خلبان های هلیکوپتر تدوین شده بود، اغتشاش حول سکو به عنوان یکی از ۱۵ مؤلفه بسیار خطرناک حین عملیات هلیکوپتر عنوان شد (James et al., 1997).

طی دهه های اخیر، شبیه سازی های دینامیک سیالات محاسباتی، باعث سهولت تحقیقات شده است. یک مدل می تواند اطلاعاتی دقیق را در شرایط تعریف شده بدون محدودیت های تجهیزات آزمایشگاهی و خطاهای اندازه گیری فراهم کند. مقالات Rowe et al. از اولین تحقیقات برای ارتقای عملیات هلیکوپترهای در حوزه فراساحل است. نتیجه این تحقیقات برای طراحی کمیته ای جهت ارزیابی اغتشاش باد استفاده شده است (Rowe et al., 2001; Rowe et al., 2005; Rowe et al., 2006).

آزمایش های تونل باد برای بررسی مشخصات جریان باد حول سازه های دریایی به صورت محدود و توسط پژوهشگران اندکی انجام پذیرفته است. از اولین این تحقیقات، مطالعه تأثیر مشخصات هندسی هلیدک بر رفتار باد در اطراف یک جکت دریایی است که توسط بلوهم و همکاران روی یک مدل ۱:۱۵۰ انجام پذیرفت. هر چند در آن زمان شاخص های عددی برآورد اغتشاش مشخص نگردیده بود اما آزمایش ها نشان داد افزایش تراز هلیدک باعث بهبود رفتار اغتشاش می شود (Von Blohn et al., 1979). Chen et al. (1995) مجموعه آزمایش های تونل باد را برای بررسی رفتار جریان حول الگویی از مکعب ها انجام دادند. هدف از این تحقیق بررسی دامنه اعتبار تئوری های تحلیلی اغتشاش بر اساس عدد های رینولدز متفاوت می باشد. نتایج نشان داد با بالا رفتن عدد رینولدز، مدل گردابه های بزرگ برآورد مناسب تری ارائه می کند اما به صورت

متوسط مقدار نوسانات به صورت تئوری برابر صفر در نظر گرفته می‌شود. همچنین مقدار متوسط مربع نوسانات که به عنوان واریانس معرفی می‌گردد برابر صفر یا عددی مثبت است. جزر این مقدار که انحراف معیار نامیده می‌شود به عنوان حداقل مربع تفاضلات معرفی می‌گردد که به صورت (رابطه ۲) تعریف می‌گردد

درک تفاوت مقدار نوسان که توسط معادله (۱) به دست می‌آید و انحراف معیار که توسط معادله (۲) محاسبه می‌گردد بسیار مهم است. با توجه به اینکه مقادیر در حیطه فضا-زمان تعریف می‌گردند، باید دانست که نوسانات می‌توانند مثبت یا منفی بوده، اما انحراف معیار همواره مقداری مثبت است. در نهایت، طبق استاندارد Norsok C-004 (2013) می‌توان مقادیر نوسان سرعت را برابر مقادیر انحراف معیار در نظر گرفت. این مقادیر به صورت رابطه (۳) می‌گردند

در شبیه‌سازی‌های دینامیک سیالات محاسباتی، استفاده از سه رویکرد ناویراستوک (Reynolds-averaged Navier-Stokes)، مستقیم عددی (Direct numerical simulation)، یا گردابه ای بزرگ (Large-eddy simulation) معمول است. رویکرد ناویراستوک بخصوص مدل ک-اِپسیلون از مدل‌های سریع و اقتصادی با دقت قابل قبول برای مدل‌سازی طیف وسیعی از اغتشاش است. روش عددی مستقیم با استفاده از معادلات ناویراستوکس اغتشاش را مدل‌سازی می‌کند، اما برای حل معادلات اغتشاش در اعداد رینولدز بالا، نیازمند امکانات محاسباتی قوی برای حل معادلات است. مدل اغتشاش بزرگ نیز در واقع مدلی میان دو مدل قبلی است که توانایی ویژه آن، مدل‌سازی قوی اغتشاش در محدوده مدل‌ها با مقیاس کوچک است (Port e-Agel et al., 2011).

$$w' = w - \bar{w} \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$w_{\text{rms}} = \sqrt{\overline{w'w'}} \quad \text{رابطه (۲)}$$

$$w_{\text{rms,NT}} = 1.75 \text{ m/s} \quad \text{رابطه (a۳)}$$

$$w_{\text{rms,FL}} = 2.4 \text{ m/s} \quad \text{رابطه (b۳)}$$

سازه مدل شده در مرکز حجم کنترل استوانه‌ای با شعاع ۱۰۰ و ارتفاع ۷۵ متر از سطح دریا، قرار گرفته است (شکل ۲). جهت تقرب هلیکوپتر به سکوی راستایی حدوداً جنوبی غربی-شمال شرقی در نظر گرفته شده است. جریان هوا به صورت آرام، با دمای ثابت، غیرقابل تراکم، بدون شتاب، با چگالی و غلظت ثابت و بدون وزن در نظر گرفته شده است، در نتیجه می‌توان از حل معادلات انرژی صرف نظر نمود. همچنین از نیروی چرخش زمین نیز صرف نظر شده است.

استاندارد CAP437 (Authority, 2005) جهت عملیات فراساحل هلیکوپترهای این کشور مورداستفاده قرار می‌گیرد. ضوابط عملیات فراساحلی هلیکوپترها در استانداردهای مطرح جهانی شبیه به هم هستند. طبق استاندارد CAP437 مقدار انحراف سرعت افقی جریان باد نباید از ۱/۷۵ متربرثانیه تجاوز نماید. با توجه به اینکه این مقدار در استاندارد Norsok C-004 نیز به عنوان معیار اغتشاش قابل توجه عنوان شده است.

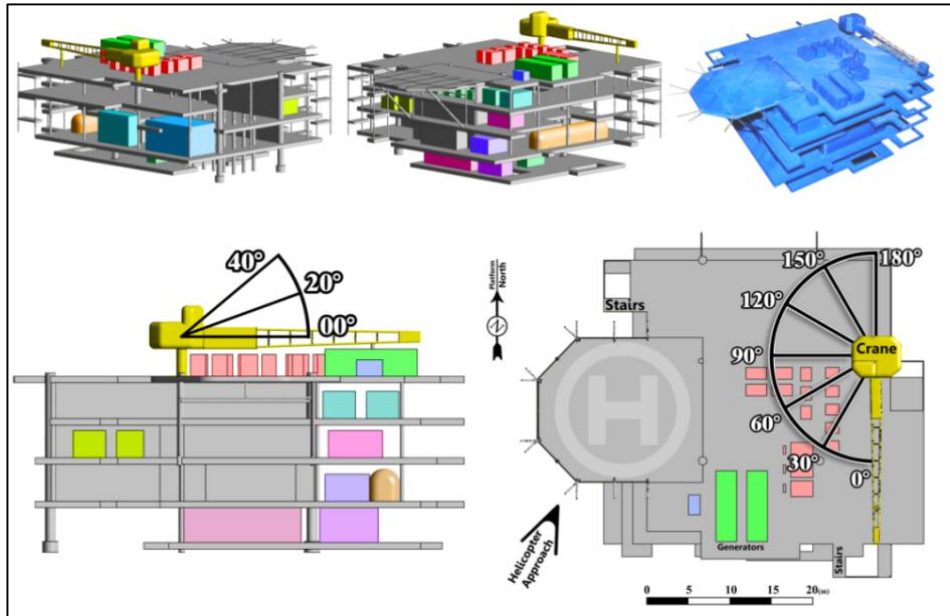
اگرچه معیار "اغتشاش قابل توجه" در ویرایش‌های قبل از ویرایش ششم آیین‌نامه CAP 437 برابر با ۲/۴ متر در ثانیه در نظر گرفته شده است، اما از ویرایش ششم به بعد با توجه به آزمایش‌های دقت سنجی، این مقدار به ۱/۷۵ متربرثانیه کاهش یافت (این آزمایش‌های دقت سنجی تحت عنوان گزارش CAA Paper 2008/02 شناخته می‌شود (Authority, 2000)). طبق این گزارش، مقادیر بین ۱/۷۵ و ۲/۴ متربرثانیه، حداقل محدودده اغتشاش قابل توجه در عملیات پروازی است که روی مقیاس ارائه داده شده توسط هارپر-کوپر محدودده بین ۶/۸ و ۱۲/۸ مترمربع بر مجذور ثانیه است که به معیار انرژی جنبشی اغتشاش معروف می‌باشد (Cooper and Harper, 1969).

اغتشاش با دو مؤلفه میانگین و نوسان معرفی می‌گردد. در این مقاله مقادیر متوسط با اضافه شدن خطی روی مؤلفه اصلی (بار) معرفی می‌گردد و اضافه شدن پرایم نیز نشان‌دهنده مقادیر انحراف مؤلفه موجود از مقادیر متوسط است. مقادیر متوسط در واقع نتایج آماری بوده، در حالی که انحراف‌ها از تفاضل مقادیر نقطه‌ای و متوسط بدست می‌آید (رابطه ۱).

مدل‌سازی سکو بر اساس جکت فاز ۱۹ پارس جنوبی صورت گرفته است. عرشه چهارپایه، به ابعاد ۴۰ متر طول، ۳۲ متر عرض و ۵ طبقه به ارتفاع ۱۴ متر است. عرشه فوقانی شامل هلیدک بوده و در ارتفاع ۲۵/۷ متری سطح دریا به صورت طره‌ای واقع شده است. هلیدک روی وجه غربی و جرثقیل در وجه شرقی واقع شده است (شکل ۱).

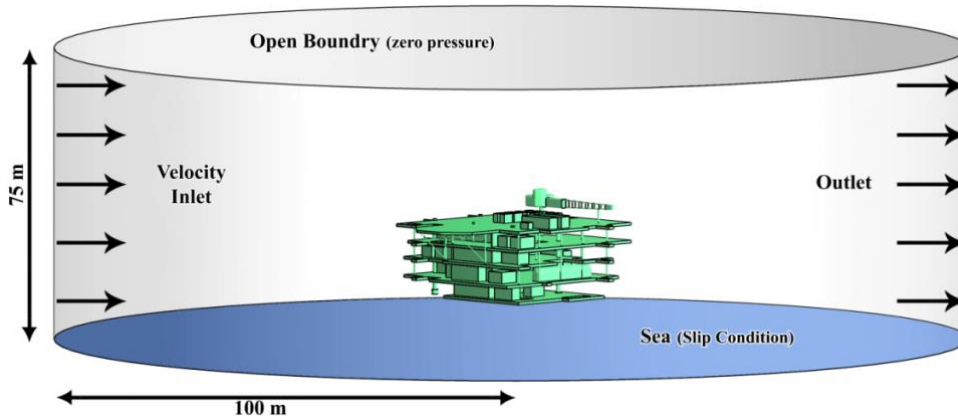
بر اغتشاش، موقعیت افقی جرتقیل در هفت زاویه (۰، ۳۰، ۶۰، ۹۰، ۱۲۰، ۱۵۰ و ۱۸۰ درجه) و بوم جرتقیل در سه زاویه (۰، ۲۰ و ۴۰ درجه) متغیر در نظر گرفته شده است که جهت صفر درجه افقی بر راستای جنوبی سکو منطبق می‌باشد. با توجه به توضیحات فوق ۴۲ سناریو مدل سازی شده است.

با پیش مدل سازی‌های انجام شده مشخص گردید بارگذاری باد در راستایی که جرتقیل بیشترین اثر بر اغتشاش در اطراف هلیدک را دارد به صورت شمال به جنوب و شمال شرق به جنوب غرب می‌باشد و سرعت باد معادل ۳۰ متر بر ثانیه (سرعت باد طوفان منطقه) در نظر گرفته شده است. برای برآوردی مناسب از اثر جرتقیل



شکل ۱- نمای سه بعدی عرشه مدل سازی شده در نرم افزار و چاپ سه بعدی و جهت های افقی و عمودی جرتقیل و بوم آن

Fig.1. 3-D view of modeled deck in software and 3-D printed model.



شکل ۲- هندسه حجم کنترل و شرایط مرزی مدل سازی

Fig.2. Boundary conditions and configuration of control volume.

استاندارد کا-اِپسیلون با استفاده از رویکرد ناویر-استوکس برای محدوده اعداد رینولدز متوسط جهت حل مدل استفاده شده است.

در تحقیق حاضر به کمک مدول دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) نرم افزار انسیس (ANSYS) جهت مدل سازی و از روش

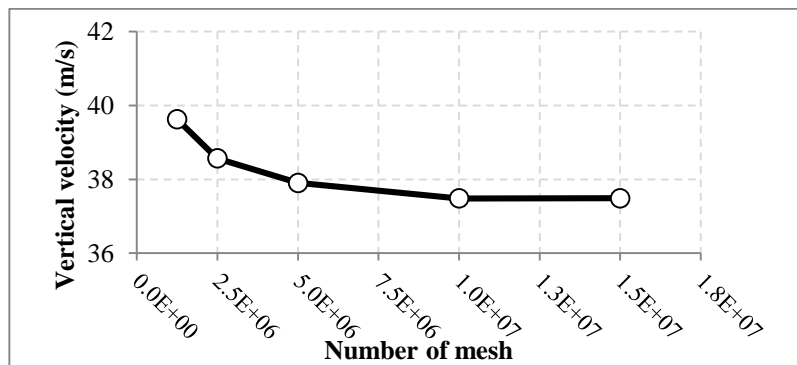
جریان‌های تراکم ناپذیر و با سرعت کم در برخورد با سازه‌هایی با حجیم مناسب می‌باشد. در این حوزه مطالعات جامعی بر دقت روش کا-اِپسیلون صحت گذاشته‌اند از این جمله می‌توان به Maleki et al. (2017) و Abdi و Bitsuamlak (2014)، Altaç and Uğurlubilek (2016) و Mentzoni و Ertesvag (2015) اشاره نمود.

از جامع‌ترین تحقیقات در حوزه بررسی اغتشاش حول سازه‌های حجیم توسط Richards و Hoxey انجام شده است (Richards and Hoxey, 2002; 2006; 2008; 2012a; 2012b; Hoxey and Richards, 1995). در این تحقیقات اثر باد روی یک مکعب با ابعاد $6 \times 6 \times 6$ متر نصب شده در فضایی باز در شهر سلسو (Silsoe) کشور انگلستان مورد بررسی قرار گرفته است (شکل ۴ و ۵)، در ادامه این مکعب به نام مکعب سلسو نامبرده می‌شود.

همچنین جهت همگرا نمودن معادلات نیز از روش بالادست مرتبه اول (First-order upwind scheme) استفاده شده که بر اساس روش تفصیلی توانایی خرد کردن و حل معادلات دیفرانسیل با مشتقات جزئی را دارا می‌باشد.

برای انتخاب تعداد مناسب مش در حجم کنترل، مدل‌هایی با اندازه مش‌های بزرگ تا کوچک مورد تحلیل قرار گرفت (شکل ۳). بر اساس این تحلیل‌ها اندازه مش برای سطح دریا، عرشه بالایی و محدوده هلیدک به ترتیب ۱، ۰/۲ و ۰/۱ متر در نظر گرفته شده و به جهت محاسبات دقیق‌تر با نزدیک‌تر شدن به سکو کوچک‌تر شده، تا منتج به تولید ۲ میلیون گره و ۱۰ میلیون المان شده است.

رویکردهای مختلف در مدل‌سازی اغتشاش سال‌ها مورد تحقیق پژوهشگران بوده است. بسیاری از این رویکردها برای مدل‌سازی



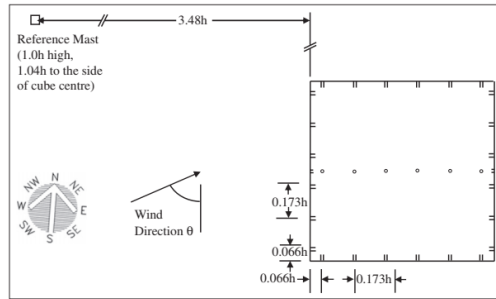
شکل ۳- اثر تعداد مش بر سرعت افقی باد در نقطه کنترل بر فراز مرکز هلیدک

Fig.3. Mesh study (effect of mesh number on vertical velocity in control point).



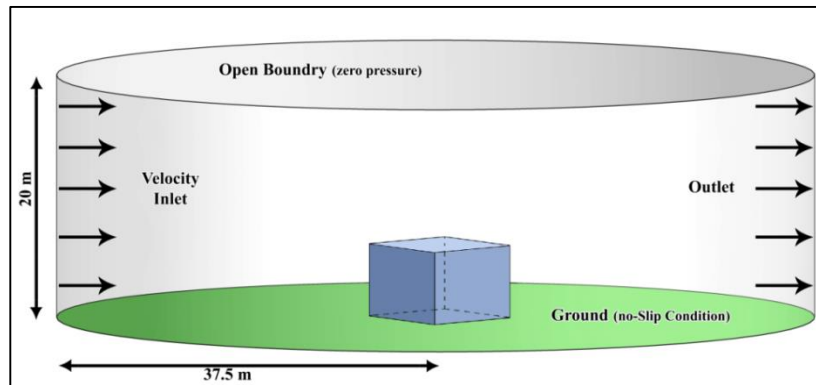
شکل ۴- نمای کلی مکعب سلسو (Richards and Hoxey, 2006)

Fig.4. Silsoe cube view (Richards and Hoxey, 2006)



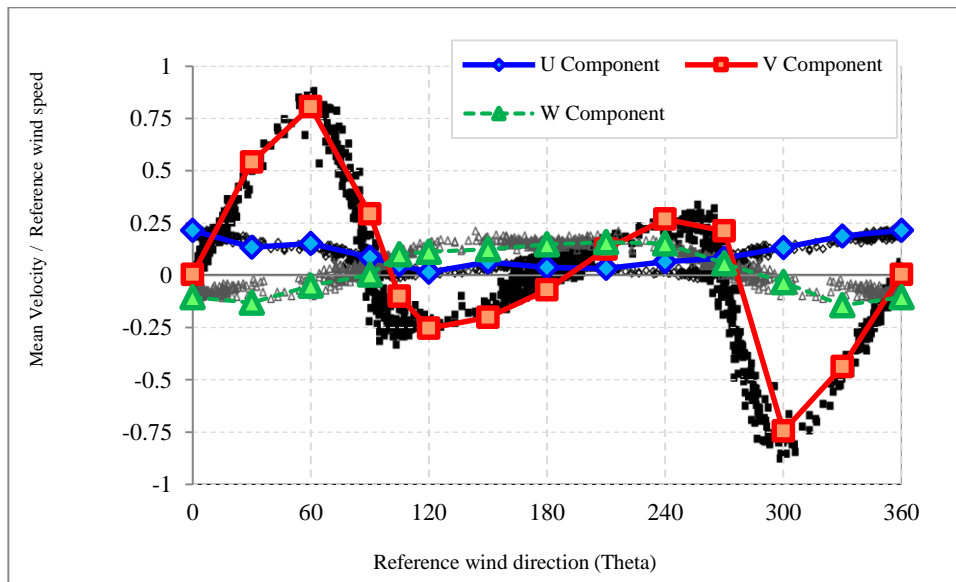
شکل ۵- نمای شماتیک مکعب سلسو و تجهیزات برداشت دقیق (Richards and Hoxey, 2012a).

Fig.5. Schematic view of Silsoe cube and instrumentations (Richards and Hoxey, 2012a)



شکل ۶- ابعاد و شرایط مرزی مدل تعریف شده برای مکعب سلسو

Fig.6. Dimension and boundary condition defined for Silsoe cube model



شکل ۷- مقایسه نتایج مدل مورد استفاده جهت صحت سنجی و اطلاعات برداشت شده از مدل میدانی (Richards and Hoxey, 2002)

Fig.7. Compare of results obtained from verification and numerical model (Richards and Hoxey, 2002).

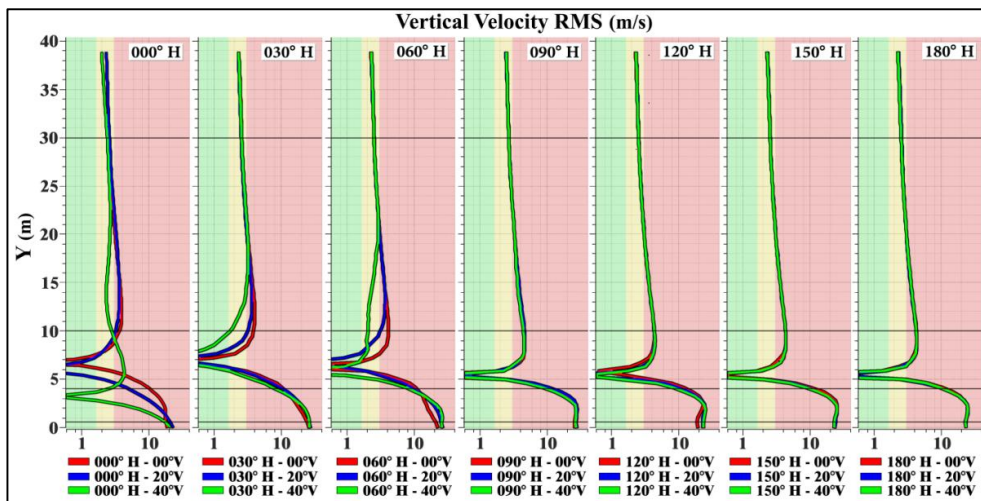
بنابر استانداردها نتایج تحلیل اغتشاش باید شامل نمودارهای انحراف معیار جریان افقی باشد. این مقادیر به تفکیک زاویه افقی جرتقیل در شکل ۸ و ۹ با برداشت مقادیر از مرکز هلیدک به دست آمده است. نواحی اغتشاش قابل توجه و محدودیت پرواز در این شکل‌ها به ترتیب با رنگ زرد و قرمز نشان داده شده است. با توجه به اینکه ارتفاع معمول هلیکوپترها نزدیک به ۴ متر است و ارتفاعی که برای عملیات تقرب و نشست در نزدیکی سازه مورد نیاز است نزدیک به ۳۰ متر می‌باشد؛ مقادیر و شکل قسمت پایینی نمودارها بسیار مهم است. برای بررسی نمودار انحراف معیار سرعت، ترازهای ارتفاعی از روی هلیدک در چهار محدوده مهم معرفی می‌شود: نیم متر اول فاصله بین اتاقک هلیکوپتر و هلیدک (اسکی نشست)؛ تراز نیم تا چهار متر که برابر ارتفاع اتاقک و تیغه‌ها است، چهار تا ده متر که به عنوان منطقه تقرب شناخته می‌شود و ده تا سی متر که به عنوان منطقه کنترل معرفی می‌گردد.

همان‌طور که در شکل‌های ۸ و ۹ مشاهده می‌شود، نمودارهای تغییرات سرعت افقی جریان روی مرکز هلیدک را می‌توان به دو دسته کلی تقسیم کرد. دسته اول زوایایی می‌باشد که تغییرات سرعت جریان در آن‌ها با تغییرات عمودی زاویه بوم تغییر می‌کند و دسته دوم زوایایی می‌باشند که زاویه عمودی بوم بر آن‌ها تأثیر قابل توجه ندارد. در جهت وزش شرقی - غربی زوایای تأثیرپذیر از هندسه جرتقیل، زوایای ۰، ۳۰ و ۶۰ درجه می‌باشند و در جهت وزش شمال شرقی - جنوب غربی، زوایای تأثیر گیرنده از زاویه جرتقیل، زوایای ۱۲۰ و ۱۵۰ درجه می‌باشند.

برای صحت سنجی تحقیق جاری، مدل مکعب سلسو در محیط دینامیک سیالات محاسباتی مدل سازی شد و اطلاعات برداشت شده میدانی با نتایج تحلیل‌ها مورد مقایسه قرار گرفت. اطلاعات مورد استفاده در روند صحت سنجی در مقاله Richards et al. (2000) و Richards and Hoxey (2002) ارائه شده است. نمای از مدل عددی مکعب سلسو در شکل ۶ نمایش داده شده است. شکل ۷ نشان دهنده اطلاعات حاصل از مدل میدانی و مقایسه آن با اطلاعات مدل ساخته شده صحت سنجی می‌باشد. نتایج نشان دهنده تشابه قابل قبول اطلاعات میدانی و مدل صحت سنجی می‌باشد.

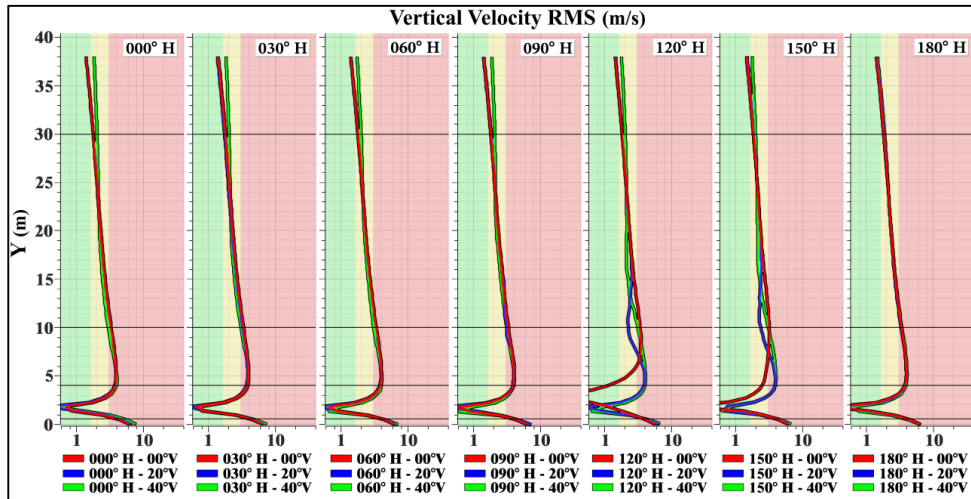
علاوه بر پژوهش‌های تأیید کننده روند مورد استفاده در این تحقیق و همچنین صحت سنجی فوق، جهت اطمینان از صحت روش عددی، مدل عرشه با تمامی جزئیات به صورت چاپ سه بعدی با مقیاس ۱:۲۰۰ ساخته شد و در تونل باد تحقیقاتی - آموزشی دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر مورد آزمایش قرار گرفت. ابعاد مقطع این تونل باد ۳۵×۳۵ سانتیمتر بوده و با مکانیسم موتور کننده، قابلیت تولید سرعت بادی معادل ۱۵ متر بر ثانیه را داراست. بر اساس تخمین‌هایی که با کمک تشابه عدد بی بعد فرود انجام گرفت، سرعت باد معادل ۱ متر بر ثانیه جهت بررسی خطوط جریان استفاده شد، این خطوط جریان به کمک دستگاه تولید دود آشکار شدند.

۳. نتایج



شکل ۸- انحراف معیار سرعت باد شرقی- غربی از سرعت متوسط، به تفکیک درجه افقی جرتقیل و عمودی بوم.

Fig.8. Vertical velocity deviation for East-west wind direction.



شکل ۹- انحراف معیار سرعت باد شمال شرقی-جنوب غربی از سرعت متوسط، به تفکیک درجه افقی جرتقیل و عمودی بوم.

Fig.9. Vertical velocity deviation for Northeast-Southwest wind direction.

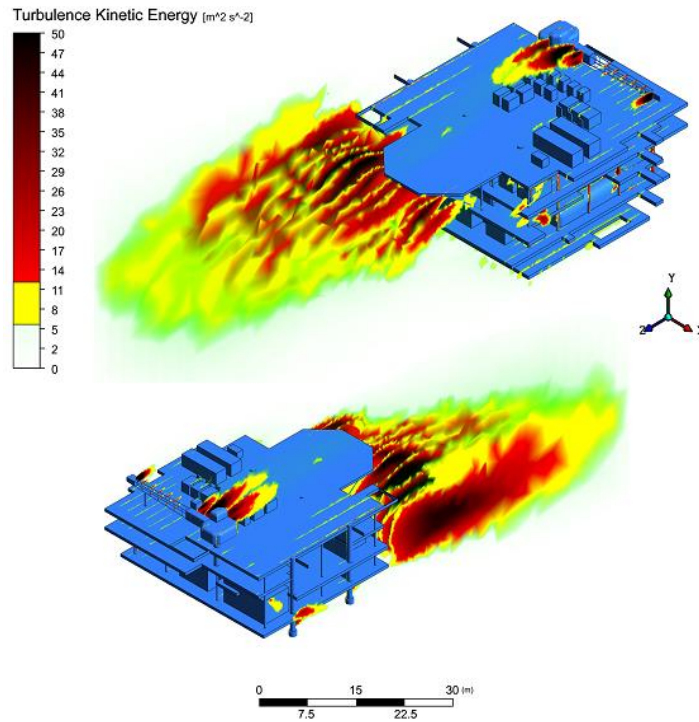
خروجی‌های گرافیکی معیار انرژی جنبشی اغتشاش می‌باشد. در این شکل‌ها مقادیر ضابطه انرژی جنبشی برای اغتشاش قابل‌توجه و محدودیت پرواز با محدوده‌هایی به رنگ‌های زرد و قرمز نشان داده شده است. در این خروجی‌ها بوم جرتقیل در زاویه افقی صفر درجه و زاویه‌های عمودی صفر و چهل درجه قرار گرفته است. افزایش زاویه عمودی بوم منجر به افزایش قابل‌توجه اغتشاش می‌شود که نتیجه آن ایجاد ناحیه مغشوش به شکل بیضی کشیده به حجم حدوداً ۲۵۰۰ مترمکعب بر فراز هلیدک و منطقه تقرب هلیکوپتر است.

نمونه نتایج گرافیکی تحلیل رفتار باد برای جرتقیل با زاویه‌های افقی ۳۰ و ۱۵۰ درجه، هرکدام در دو زاویه عمودی صفر و چهل درجه در شکل ۱۲ و ۱۳ نشان داده شده است. شبیه‌سازی‌ها نشان‌دهنده اثر زاویه عمودی بوم جرتقیل بر تشکیل حوزه‌ای پرسرعت پیرامون هلیدک است. اغتشاش ناشی از برخورد باد با بوم جرتقیل باعث ایجاد منطقه‌ای پرسرعت حول هلیدک می‌شود. این منطقه‌ای پرسرعت به‌خصوص در حالتی که زاویه افقی جرتقیل در حالات صفر تا شصت درجه است باعث ایجاد گسترش حوزه پرسرعت و پر اغتشاش (با حجم حدود ۵۰۰ مترمکعب) در مسیر تقرب هلیکوپتر می‌شود که می‌تواند باعث ناپایداری عملیات نشست و برخاست شود.

نمودارهای شکل ۸ نشان می‌دهد که افزایش زاویه عمودی بوم جرتقیل منجر به کاهش ۲۰ درصدی انحراف معیار سرعت شده و باعث بهبود شرایط پرواز در مرکز هلیدک می‌شود. این شرایط در حالت صفر درجه افقی، به‌خصوص برای قسمت پایینی نمودار کاملاً مشهود می‌باشد. همچنین در زاویه ۶۰ درجه نیز، کاهش انحراف معیار ناشی از افزایش زاویه عمودی جرتقیل در ناحیه کنترل مشخص می‌باشد. در شکل ۹ مشاهده می‌شود در دو جهتی که اغتشاش از تغییرات زاویه بوم تأثیر می‌گیرد با افزایش زاویه عمودی بوم، وضعیت اغتشاش بغرنج‌تر می‌گردد. به صورتی که در این دو جهت افزایش انحراف معیار سرعت باد به اندازه حدوداً ۱۵ درصد مشاهده می‌شود.

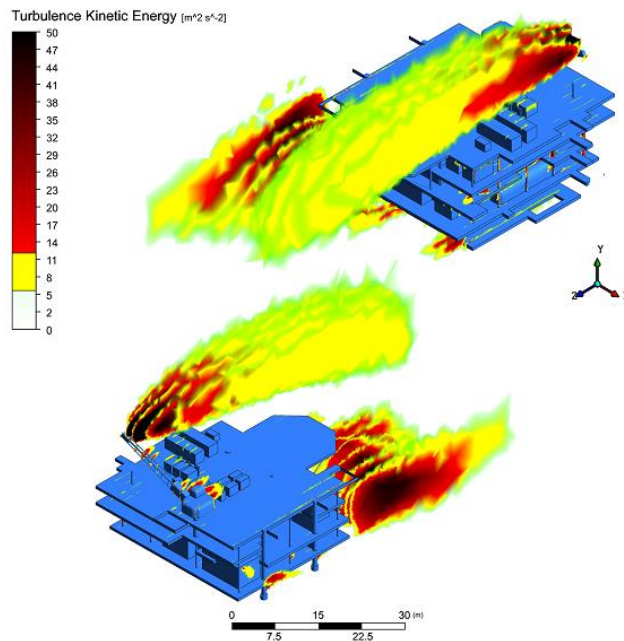
انرژی جنبشی اغتشاش، ضابطه‌ای دیگر برای کنترل رفتار جریان است. پی از این اغتشاش تنها در مرکز هلیدک مورد بررسی قرار گرفت اما بهبود یا بغرنج شدن شرایط در مرکز هلیدک لزوماً به معنای بهبود شرایط در تمامی منطقه کنترل نیست. در ادامه به‌منظور بررسی شرایط اغتشاش پیرامون هلیدک ضابطه انرژی مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

خروجی‌ها نشان‌دهنده وجود انرژی اغتشاش قابل‌توجه در اطراف سکو و اثر قابل‌توجه زاویه عمودی بوم جرتقیل بر ایجاد اغتشاش پیرامون هلیدک است. شکل‌های ۱۰ و ۱۱ نمونه‌ای از



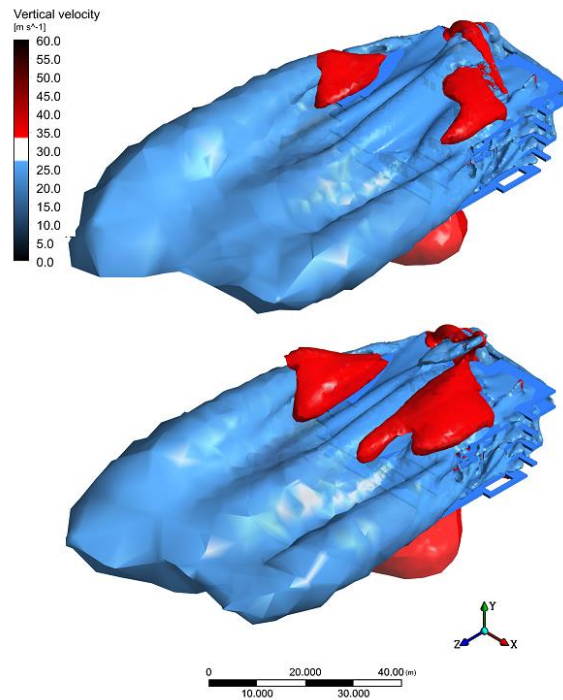
شکل ۱۰- انرژی جنبشی اغتشاش حاصل از برخورد باد شرقی- غربی؛ زاویه افقی و عمودی بوم جرتقیل صفر درجه.

Fig.10. Turbulent kinetic energy for East-west wind direction.



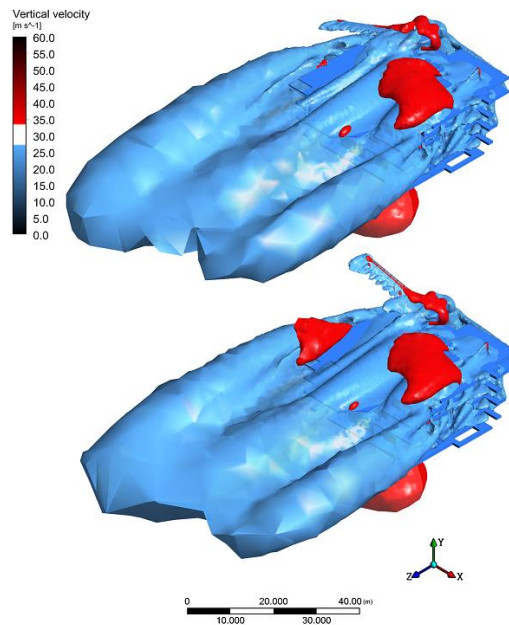
شکل ۱۱- انرژی جنبشی اغتشاش حاصل از برخورد باد شرقی- غربی؛ زاویه افقی و عمودی بوم جرتقیل صفر و چهل درجه.

Fig.11. Turbulent kinetic energy for Northeast-Southwest wind direction.



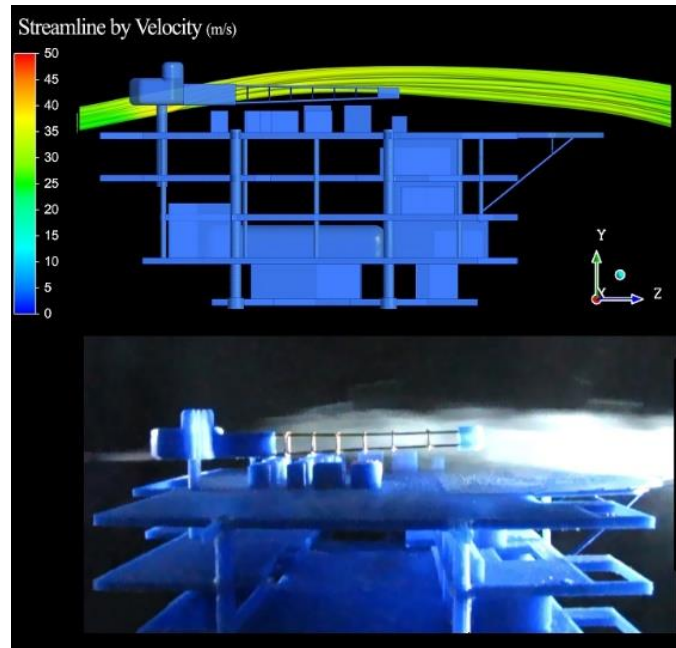
شکل ۱۲- نمودار نواحی کم و پرسرعت به ترتیب به رنگ‌های آبی و قرمز به تفکیک زاویه جریان باد شرقی-غربی؛ زاویه افقی جرتقیل سی درجه، زاویه عمودی صفر درجه (سمت چپ) و چهل درجه صفر (سمت راست).

Fig.12. Regions with low and high velocity for East-west wind direction. Vertical degree of crane=30°, Horizontal degree of crane= 0° and 40°



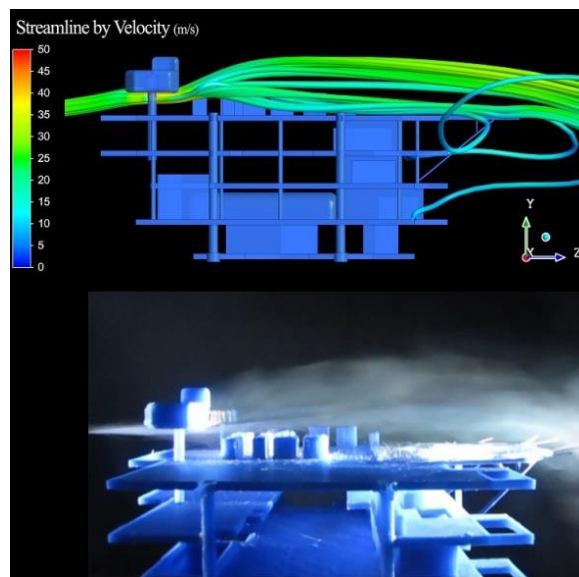
شکل ۱۳- نمودار نواحی کم و پرسرعت به ترتیب به رنگ‌های آبی و قرمز به تفکیک زاویه جریان باد شرقی-غربی؛ زاویه افقی جرتقیل صد و پنجاه درجه، زاویه عمودی صفر درجه (سمت چپ) و چهل درجه صفر (سمت راست).

Fig.13. Regions with low and high velocity for East-west wind direction. Vertical degree of crane=150°, Horizontal degree of crane= 0° and 40°



شکل ۱۴- خطوط جریان مدل سازی عددی (بالا) و آزمایشگاهی (پایین). جهت باد شرقی-غربی. زاویه عمودی بوم صفر درجه، زاویه افقی بوم صفر درجه

Fig.14. wind current stream lines for numerical and experimental models. Vertical degree of crane=0°, Horizontal degree of crane= 0°



شکل ۱۵- خطوط جریان مدل سازی عددی (بالا) و آزمایشگاهی (پایین). جهت باد شرقی-غربی. زاویه عمودی بوم صفر نود درجه، زاویه افقی بوم صفر درجه

Fig.15. wind current stream lines for numerical and experimental models. Vertical degree of crane=0°, Horizontal degree of crane= 90°

آنچه از خروجی‌ها برمی‌آید، اثر نامطلوب افزایش زاویه عمودی بوم جرتقیل بر اغتشاش است. در حالتی که زاویه بوم جرتقیل از صفر به چهل درجه افزایش دارد، ناحیه‌ای پرسرعت در اطراف هلیدک ایجاد می‌شود که حجم آن به ۲۵۰۰ مترمکعب نیز می‌رسد. همچنین علاوه بر افزایش سرعت در این ناحیه، اغتشاش حاصل از آن باعث افزایش حدوداً ۵ برابری انرژی جنبشی اغتشاش خواهد شد. در این حالت و بر اساس ضوابط، عملیات هلیکوپتر باید متوقف شود پس می‌توان توصیه نمود بوم جرتقیل در حین عملیات هلیکوپتر به حالت افقی قرار گیرد.

وضعیت افقی سازه جرتقیل نیز اثری قابل‌توجه بر شرایط اغتشاش جریان باد دارد. در حالتی که زاویه افقی سازه جرتقیل به صورتی است که بوم جرتقیل عمود بر راستای باد گذشته از روی هلیدک قرار می‌گیرد، اغتشاش در اطراف و روی هلیدک افزایش پیدا می‌کند. در حالت کلی بهترین وضعیت، عدم قرارگیری بوم جرتقیل در مسیر باد عبور کننده از روی هلیدک به شرح زیر است:

برای باد در شرقی-غربی، بهترین حالت قرارگیری جرتقیل در زاویه افقی ۹۰، ۱۲۰، ۱۵۰ و ۱۸۰ درجه است. برای باد در شمال شرقی- جنوب غربی، بهترین حالت قرارگیری جرتقیل در زاویه افقی ۹۰، ۱۲۰، ۱۵۰ و ۱۸۰ درجه است.

در نهایت می‌توان گفت نتایج حاصل از آزمایش‌های تونل باد با روش عددی انتخاب‌شده برای مدل‌سازی شباهت قابل قبولی دارد و بیانگر این است که این روش عددی برای مدل‌سازی اغتشاش حول سازه‌های حجیم در سرعت‌های پایین مناسب است.

از آنجاکه خطوط جریان از شاخص‌های بارز آشکارسازی رفتار باد در حالت معشوش است در شکل‌های ۱۴ و ۱۵ نمونه‌ای از خروجی‌های خطوط جریان باد روی عرشه در دو محیط دینامیک سیالات محاسباتی و تونل باد مورد مقایسه قرار گرفته است. در این حالت باد از جهت شرق به غرب می‌وزد و زاویه افقی جرتقیل ۰۰ و ۹۰ درجه و زاویه عمودی بوم ۰۰ درجه می‌باشد. مقایسه نتایج حاصل از آزمایش‌ها در تونل باد و نتایج حاصل از شبیه‌سازی‌های عددی نشان‌دهنده رفتار مشابه جریان باد در دو حالت است.

مطابق با نتایج حاصل از شکل ۸ اثر جرتقیل بر رفتار جریان باد در حالتی که جرتقیل بیشترین مانع را در برابر آن ایجاد می‌کند باعث می‌شود که جریان از حالت لایه‌ای و منظم به حالت معشوش تغییر حالت دهد. این اثر در آزمایش‌های تونل باد (شکل ۱۴) مشهود است. این در حالی است که در صورت تغییر موضع جرتقیل و کاهش سطح مقطع مانع (دو شکل سمت راست)، جریان لایه‌ای شده و اغتشاش کمتری خواهد داشت.

۴. بحث و نتیجه‌گیری

از مهم‌ترین عواملی که بر اغتشاش باد روی هلیدک تأثیر می‌گذارد، تجهیزات نصب‌شده روی عرشه فوقانی سکوی دریایی به‌خصوص جرتقیل می‌باشد. در این حالت با توجه به متحرک بودن سازه جرتقیل و بوم در جهت افقی و عمودی، اغتشاش می‌تواند رفتاری متفاوت با توجه به وضعیت جرتقیل داشته باشد.

Reference

- Abdi, D.S. and Bitsuamlak, G.T., 2014. Wind flow simulations on idealized and real complex terrain using various turbulence models. *Advances in Engineering Software*, 75, pp.30-41. DOI: 10.1016/j.advengsoft.2014.05.002
- Air Accidents Investigation Branch (AAIB), 1996. *Heavy landing on Claymore accommodation platform, 18 August 1995*. AAIB Bulletin No. 3/96. Aldershot: AAIB.
- Altaç, Z. and Uğurlubilek, N., 2016. Assessment of turbulence models in natural convection from two-and three-dimensional rectangular enclosures. *International Journal of Thermal Sciences*, 107, pp.237-246. DOI: 0.1016/j.ijthermalsci.2016.04.016
- Authority, C.A., 2005. CAP 437. Offshore Helicopter Landing Areas-Guidance on Standards. 6th ed. UK Civil Aviation Authority, London.
- Authority, U.C.A., 2000. CAA Paper 2008/02. Research On Offshore Hhideck Environmental Issues.
- Civil Aviation Authority (CAA), 1984. *Review of helicopter airworthiness: Report of the Helicopter Airworthiness Review Panel (HARP) of the Airworthiness Requirements Board*. CAP 491. London: Civil Aviation Authority.
- Chen, Q., Gu, Z., Sun, T. and Song, S., 1995. Wind environment over the helideck of an offshore platform. *Journal of wind engineering and industrial aerodynamics*, 54, pp.621-631. DOI: 10.1016/0167-6105(94)00077-Q
- Cooper, G.E. and Harper, R.P., 1969. *The use of pilot rating in the evaluation of aircraft*

- handling qualities. National Aeronautics and Space Administration.
- de Carvalho e Silva, D.F., Pagot, P.R., Nader, G. and Jabardo, P.J.S., 2010. January. CFD Simulation and wind tunnel investigation of a FPSO offshore helideck turbulent flow. In *International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering* (Vol. 49149, pp. 771-781). DOI: 10.1115/OMAE2010-20686
- Hoxey, R.P. and Richards, P.J., 1995. Full-scale wind load measurements point the way forward. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 57(2-3), pp.215-224. DOI: 10.1016/0167-6105(94)00116-U
- International Association of Oil & Gas Producers (OGP), 2010. *Major Accidents - Risk Assessment Data Directory*. Report No. 434. London: International Association of Oil & Gas Producers.
- James, M., Scriven, J. and Green, R., 1997. A Questionnaire Survey of Workload and Safety Hazards Associated with North Sea and Irish Sea Helicopter Operations. *CAA PAPER*.
- Kawabata, S., Hirano, A., Shirahashi, H. and Wakabayashi, K., 1975. Wind tunnel experiment about helideck on the rooftop of high-rise building, *Summaries of Technical Papers of Annual Meeting of AIJ*, pp. 605-606 DOI: 10.1016/0167-6105(91)90063-3
- Maleki, S., Burton, D. and Thompson, M.C., 2017. Assessment of various turbulence models (ELES, SAS, URANS and RANS) for predicting the aerodynamics of freight train container wagons. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 170, pp.68-80. DOI: 10.1016/j.jweia.2017.07.008
- Mentzoni, F. and Ertesvåg, I.S., 2015. On turbulence criteria and model requirements for numerical simulation of turbulent flows above offshore helidecks. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 142, pp.164-172. DOI: 10.1016/j.jweia.2015.03.022
- Nakayama, M., Uchiami, Y., Watagami, K. and Ui, K., 1991. Wind tunnel test to design helidecks on the rooftops of high-rise buildings. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 38(2-3), pp.459-468. DOI: 10.1016/0167-6105(91)90063-3
- Norsok C-004., 2013. "Helicopter deck on offshore installations". 2ndEd. May. Standards Norway, Oslo, Norway.
- Porté-Agel, F., Wu, Y.T., Lu, H. and Conzemius, R.J., 2011. Large-eddy simulation of atmospheric boundary layer flow through wind turbines and wind farms. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 99(4), pp.154-168. <https://doi.org/10.1016/j.jweia.2011.01.011>
- Richards, P.J. and Hoxey, R.P., 2002. Unsteady flow on the sides of a 6 m cube. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 90(12-15), pp.1855-1866. [https://doi.org/10.1016/S0167-6105\(02\)00293-3](https://doi.org/10.1016/S0167-6105(02)00293-3)
- Richards, P.J. and Hoxey, R.P., 2006. Flow reattachment on the roof of a 6 m cube. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 94(2), pp.77-99. DOI: 10.1016/j.jweia.2005.12.002
- Richards, P.J. and Hoxey, R.P., 2008. Wind loads on the roof of a 6 m cube. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 96(6-7), pp.984-993. <https://doi.org/10.1016/j.jweia.2007.06.032>
- Richards, P.J. and Hoxey, R.P., 2012a. Pressures on a cubic building—Part 1: Full-scale results. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 102, pp.72-86. DOI: 10.1016/j.jweia.2011.11.004
- Richards, P.J. and Hoxey, R.P., 2012b. Pressures on a cubic building—part 2: quasi-steady and other processes. *Journal of wind engineering and industrial aerodynamics*, 102, pp.87-96. DOI: 10.1016/j.jweia.2011.11.003
- Richards, P.J., Hoxey, R.P. and Short, J.L., 2000. Spectral models for the neutral atmospheric surface layer. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 87(2-3), pp.167-185. DOI: 10.1016/S0167-6105(00)00035-0
- Rowe, S.J., Howson, D. and Bradley, R., 2001. The response of helicopters to aerodynamic disturbances around offshore helidecks. *Helicopter operations in the maritime environment*, p.6.
- Rowe, S.J., Howson, D. and Sparkes, P., 2002, May. Research improving the safety of offshore helicopter operations. In *Offshore*

- Technology Conference* (pp. OTC-14162).
OTC. DOI: 10.4043/14162-MS
- Rowe, S.J., Howson, D. and Sparkes, P., 2005.
Research improving the safety of offshore
helicopter operations. *Marine technology and
SNAME news*, 42(01), pp.34-42.
<https://doi.org/10.5957/mt1.2005.42.1.34>
- Rowe, S.J., Howson, D. and Turner, G., 2006. A
turbulence criterion for safe helicopter
operations to offshore installations. *The
Aeronautical Journal*, 110(1113), pp.749-
758. DOI: 10.1017/S0001924000001615
- Von Blohn, K.H., Peterka, J.A., Cermak, J.E.,
Barnard, E.J. and Ewald, R.L., 1979, April.
Offshore Platform Hell Deck Location for
Minimum Wind Turbulence. In *Offshore
Technology Conference* (pp. OTC-3431).
OTC. <https://doi.org/10.4043/3431-MS>